Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan
Republik Indonesia
2013

PEREKAYASAAN SISTEM AUDIO



1

UNTUK SMK / MAK KELAS X

Penulis : **HENDRO HERMANTO**

Editor Materi : **WIDIHARSO**

Editor Bahasa :

Ilustrasi Sampul :

Desain & Ilustrasi Buku :**PPPPTK BOE MALANG**

Pusat Pengembangan & Pemberdayaan Pendidik & Tenaga Kependidikan Bidang Otomotif & Elektronika:

Jl. Teluk Mandar, Arjosari tromol Pos 5, Malang 65102, Telp. (0341) 491239, (0341) 495849, Fax. (0341) 491342, Surel:vedcmalang@vedcmalang.or.id.Laman: www.vedcmalang.com

DISKLAIMER (*DISCLAIMER*)

Penerbit tidak menjamin kebenaran dan keakuratan isi/informasi yang tertulis di dalam buku tek ini. Kebenaran dan keakuratan isi/informasi merupakan tanggung jawab dan wewenang dari penulis.

Penerbit tidak bertanggung jawab dan tidak melayani terhadap semua komentar apapun yang ada didalam buku teks ini. Setiap komentar yang tercantum untuk tujuan perbaikan isi adalah tanggung jawab dari masing-masing penulis.

Setiap kutipan yang ada di dalam buku teks akan dicantumkan sumbernya dan penerbit tidak bertanggung jawab terhadap isi dari kutipan tersebut. Kebenaran keakuratan isi kutipan tetap menjadi tanggung jawab dan hak diberikan pada penulis dan pemilik asli. Penulis bertanggung jawab penuh terhadap setiap perawatan (perbaikan) dalam menyusun informasi dan bahan dalam buku teks ini.

Penerbit tidak bertanggung jawab atas kerugian, kerusakan atau ketidaknyamanan yang disebabkan sebagai akibat dari ketidakjelasan, ketidaktepatan atau kesalahan didalam menyusun makna kalimat didalam buku teks ini.

Kewenangan Penerbit hanya sebatas memindahkan atau menerbitkan mempublikasi, mencetak, memegang dan memproses data sesuai dengan undang-undang yang berkaitan dengan perlindungan data.

Katalog Dalam Terbitan (KDT)
Video Audio , Edisi Pertama 2013
Kementrian Pendidikan & Kebudayaan
Direktorat Jenderal Peningkatan Mutu Pendidik & Tenaga Kependidikan, Tahun 2013:

KATA PENGANTAR

berperan serta dalam membantu terselesaikannya buku teks siswa untuk Mata Puji syukur kami panjatkan kepada Tuhan yang Maha Esa atas tersusunnya buku teks ini, dengan harapan dapat digunakan sebagai buku teks untuk siswa Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) Program Keahlian Teknik Komputer dan jaringan .

Penerapan kurikulum 2013 mengacu pada paradigma belajar kurikulum abad 21 menyebabkan terjadinya perubahan, yakni dari pengajaran (*teaching*) menjadi belajar (*learning*), dari pembelajaran yang berpusat kepada guru (*teachers-centered*) menjadi pembelajaran yang berpusat kepada peserta didik (*student-centered*), dari pembelajaran pasif (*pasive learning*) ke cara belajar peserta didik aktif (*active learning)* atau *Student Active Learning.*

Buku teks ″Perekayasaan Sistem Audio″ ini disusun berdasarkan tuntutan paradigma pengajaran dan pembelajaran kurikulum 2013 diselaraskan berdasarkan pendekatan model pembelajaran yang sesuai dengan kebutuhan belajar kurikulum abad 21, yaitu pendekatan model pembelajaran berbasis peningkatan keterampilan proses sains.

Penyajian buku teks untuk Mata Pelajaran ″ Perekayasaan Sistem Audio″ ini disusun dengan tujuan agar supaya peserta didik dapat melakukan proses pencarian pengetahuan berkenaan dengan materi pelajaran melalui berbagai aktivitas proses sains sebagaimana dilakukan oleh para ilmuwan dalam melakukan eksperimen ilmiah (penerapan scientifik), dengan demikian peserta didik diarahkan untuk menemukan sendiri berbagai fakta, membangun konsep, dan nilai-nilai baru secara mandiri.

Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, dan Direktorat Jenderal Peningkatan Mutu Pendidik dan Tenaga Kependidikan menyampaikan terima kasih, sekaligus saran kritik demi kesempurnaan buku teks ini dan penghargaan kepada semua pihak yang telah Pelajaran Perekayasaan Sistem Audio Kelas X / Semester 1 Sekolah Menengah Kejuruan (SMK).

Jakarta, 12 Desember 2013

Menteri Pendidikan dan Kebudayaan

Prof. Dr. Mohammad Nuh, DEA

Daftar Isi

Contents

Psikoakustik Telinga Manusia 2

Mikrophon 4

Akustik 1

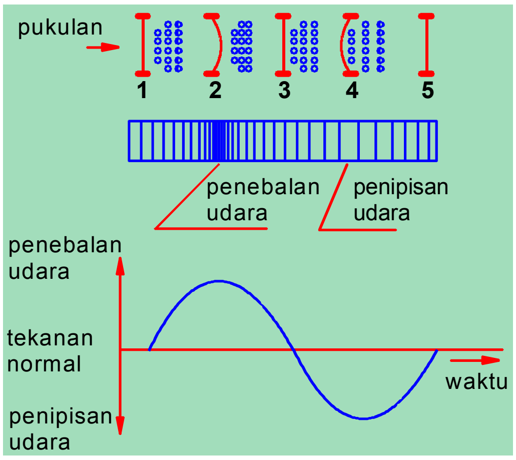
KOMPETENSI INTI (KI-3)	KOMPETENSI INTI (KI-4)
Kompetensi Dasar (KD): 1. Memahamai gelombang suara dan sistem akustik ruang	**Kompetensi Dasar (KD):** 1. Mengukur gelombang suara dan dimensi sistem akustik ruang
Indikator: 1.1. Menginterprestasikan elemen gelombang, jenis-jenis dan interaksi gelombang suara. 1.2. Menginterprestasikan karakteristik gelombang suara pada berbagai macam media. 1.3. Menginterprestasikan level suara dalam satuan decibel (dB). 1.4. Merencanakan sistem akustik ruang kecil. 1.5. Merencanakan kebutuhan mikrofon pada sistem akustik suara.	**Indikator:** 1.1. Mengklasifikasikan elemen gelombang, jenis-jenis dan interaksi gelombang suara. 1.2. Mendiagramkan karakteristik gelombang suara pada berbagai macam media. 1.3. Mengukur level suara dalam satuan decibel (dB) dan interprestasi data hasil pengukuran. 1.4. Mengukur level suarasistem akustik ruang kecil dan interprestasi data hasil pengukuran. 1.5. Memilih kebutuhan mikrofon sesuai dengan kebutuhan sistem akustik ruang kecil.

Gelombang Suara

1.1. Terbangkitnya Suara

Akustik adalah ilmu suara, yang dimaksud suara adalah getaran mekanik suatu material. Materi dapat seperti udara (bunyi udara), air (bunyi air) atau benda pejal (bunyi benda pejal). Suara melalui media udara disampaikan ke telinga. Gambar 1 menunjukkan bagaimana sumber suara membangkitkan suara dan ini oleh misalnya udara dirambatkan. Untuk keperluan ini sebuah plat yang dapat melenting dipasangkan pada satu titik dan selanjutnya didorong dengan sebuah pukulan agar bergetar. Melalui itu plat menjadi pembangkit suara dan menekan udara didepannya bersama, sehingga terjadi tekanan lebih (titik 2 pada Gambar 1). Pada getar balik dari plat (titik 4 pada Gambar 1), plat akan merenggangkan partikel uadara, sehingga terbangkitlah tekanan kurang. Sumber bunyi segera akan mempengaruhi lingkungan sekitarnya dengan tekanan lebih dan tekanan kurang untuk bergetar. Partikel udara akan saling pukul dengan partikel didekatnya, sehingga getaran sebagai sumber bunyi merambat pada media udara.



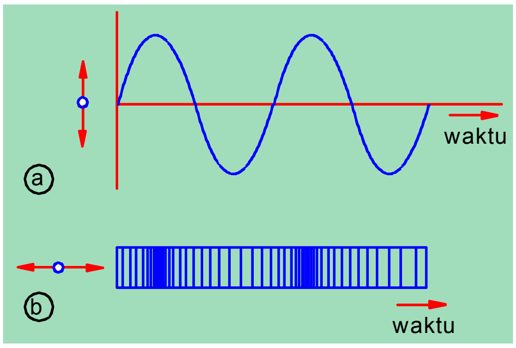


Gambar 1.1. Terbangkitnya suara dengan penebalan dan penipisan partikel udara

Hal ini dapat dilihat, bahwa partikel udara melalui penyimpangan penebalan dan penipisan secara periodis dari posisi diam menyebabkan fluktuasi tekanan periodik. Jika kita ambil satu penebalan dan satu penipisan partikel udara yang berdekatan,maka diperoleh satu gelombang penuh, yang disebut gelombang suara. Karena partikel udara dari getaran sumber suara merambat kearah yang sama,

(bergetar sepanjang arah rambat) maka disebut sebagai gelombang panjang atau gelombang longitudinal. Jika partikel udara bergetar tegak lurus dengan arah rambat, maka disebut sebagai gelombang transversal (Gambar 2).

Catatan :	Setiap gelombang suara secara ruangan merupakan gelombang longitudinal

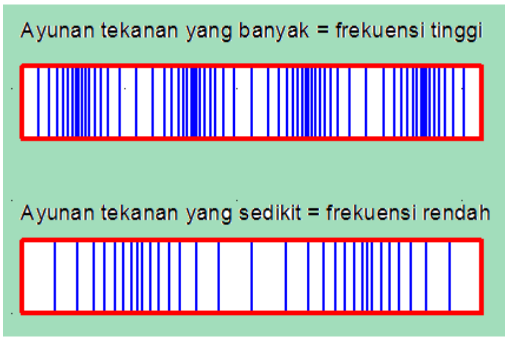


Gambar 1.2. Gelombang transversal (a) dan gelombang longitudinal (b)

Setiap getaran ditandai dengan dua besaran, yaitu frekuensi dan amplitude. Hal ini juga berlaku untuk gelombang suara. Maka dalam gelombang suara juga dibicarakan frekuensi. Amplitudo disini menentukan besarnya tekanan suaran.

Catatan :	Besaran gelombang suara
	.a) Frekuensi
	.b) Amplitudo ➔ Tekanan Suara

1.2. Frekuensi bunyi

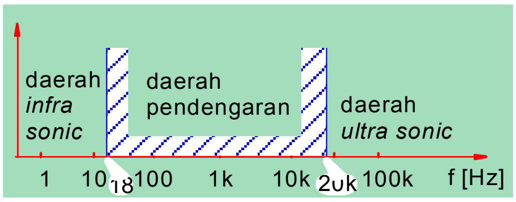


Gambar 1.3. Frekuensi tinggi dan rendah

Frekuensi bunyi menyatakan, berapa banyak penebalan dan penipisan partikel udara dalam satu detik berurutan satu sama lain. Banyak ayunan tekanan tiap satuan waktu disebut frekuensi dan akan diamati sebagai nada. Frekuensi akan menentukan tinggi nada yang didengar telinga.

Telinga manusia dapat mengenal getaran suara antara kira-kira 16Hz dan 16kHz sebagai nada. Semua yang terletak dalam daerah ini disebut sebagai frekuensi nada dan suara dalam daerah frekuensi suara yang dapat terdengar. Daerah frekuensi pada daerah ini disebut sebagai daerah pendengaran.

Catatan :	Nada akan semakin tinggi, jika semakin tinggi frekuensi dari gelombang suara.



Gambar 1.4. Daerah frekuensi suara

Getaran dibawah frekuensi 16Hz disebut sebagai suara infra atau *infra sonic*. Suara infra tidak lagi dapat dirasakan sebagai sebuah nada, melainkan sebagai pukulan atau goyangan.

Untuk getaran mekanik diatas 20kHz disebut sebagai suara ultra atau *ultra sonic*. Suara ini hanya bias didengar oleh beberapa macam binatang, misalnya anjing, tikus dan lain-lain. Dalam teknik yang disebut suara ultra sampai dengan 10MHz, ini tidak dapat didengar oleh telinga manusia tapi untuk keperluan tertentu misalnya untuk menguji material atau dalam bidang kedokteran dan lainnya.

Simbol besaran frekuensi f dan dengan satuan Hertz (Hz)

$$f = \frac{1}{T}$$

T = waktu untuk 1 periode dengan satuan s (detik)

1.3. Tekanan bunyi

Gelombang bunyi merambat dalam suatu medium melalui penebalan dan penipisan yang periodis. Penebalan suatu materi berarti sama dengan penaikan tekanan, penipisan berarti sama dengan pengurangan tekanan dibanding dengan tekanan normal dalam keadaan diam. Pada penyebaran suara , seperti dalam udara, tekanan normal udara diubahg secara periodis dalam irama gelombang suara. Yaitu tekanan saat diam dari udara ditumpangi tekanan yang berubah. Tekanan berganti suara ini disebut sebagai tekanan suara *p*.

Catatan : Tekanan suara p merupakan tekanan berganti yang tergantung pada tempat dan waktu.

Tekanan suara kecil = kuat suara rendah

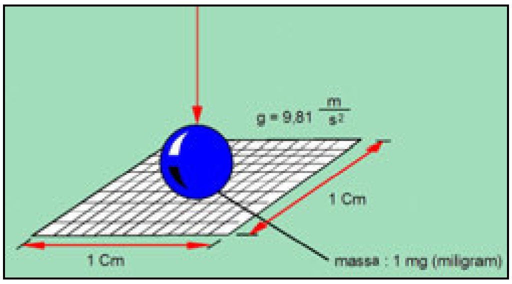
Tekanan suara besar = kuat suara tinggi

Dalam fisika didefinisikan : tekanan menunjukkan, berapa besar tenaga yang berpengaruh secara tegak lurus diatas sebuah luasan.

Atau dalam rumusan :

$$tekanan = \frac{tenaga}{luasan}$$

$$p = \frac{F}{A}$$



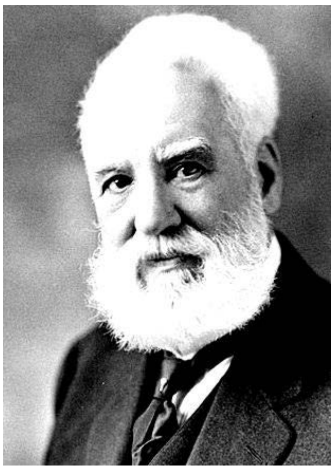
Gambar 1.4. Ilustrasi tekanan bunyi 1μbar.

Satuan tekanan disebut pascal (Pa)

$1 Pa = 1 \frac{N}{m^2}$ N = Newton

Besaran yang digunakan dalam akustik

$1 \mu bar = 0{,}1 \frac{N}{m^2}$ μ (mikro) = 10^{-6}



Daerah tekanan suara yang dapat didengarkan sangat lebar. Dalam praktiknya perbandingan tekanan bunyi dalam ukuran logaritmis. Hal ini memiliki kelebihan,mudah dalam menghitung, seperti dalam perkalian akan berubah menjadi penjumlah dan pembagian menjadi pengurangan. Ukuran logaritmis sebuah perbandingan dalam satuan Bell. Bell ini diambil dari nama ilmuwan Amerika bernama Alexander Graham Bell (1847-1922). Karena ukurannya yang kecil dan menghindarkan banya kom maka digunakan satuan desi Bell (dB), atau seper sepuluh satuan dasar. Dalam

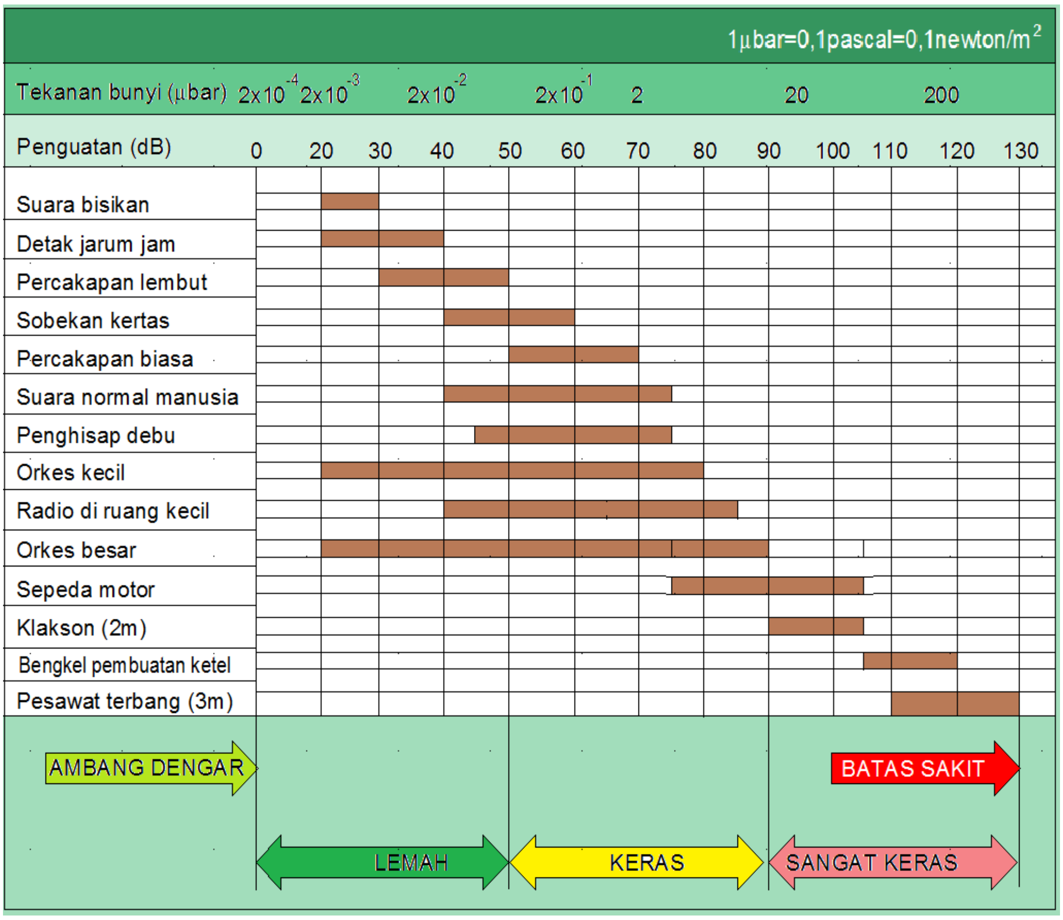
akustik berawal dari ambang dengar, dimana telinga mulai mendengar dengan $p_o=2\cdot10^{-4}\mu bar$,ini yang dimaksud denga level suara absolut.



Sebuah pabrik yang memiliki tekanan suara sebesar 2μbar maka kalau diukur dengan Sound Level Meter akan menunjukkan sebagai berikut :

.p=2μbar ; $p_o=2\cdot10^{-4}\mu bar$

$$p = 20\cdot\log\frac{p}{p_o} = 20\cdot\log\frac{2\mu bar}{2\cdot10^{-4}\,\mu bar} = 80dB$$



1.4. Penyebaran bunyi

Bunyi dapat menyebar dalam bahan padat, cairan dan bahan gas.Kecepatan penyebaran bergantung dari ketebalan medium, seperti diperlihatkan oleh tabel.

Tabel 1.1: Kecepatan penyebaran bunyi

Bahan	Kecepatan c dalam m/s
Gelas	5500
Besi	5000
Tembok	3500
Kayu	2500
Air	1480
Gabus	500
Udara (20^{o})	344
Karet (lunak)	70

Semakin tebal dan semakin elastis mediumnya, akan semakin lambat molekul dapat menyebarkan bunyi. Dan dalam ruang hampa udara, juga bunyi tidak dapat merambat.

Penyebaran bunyi dalam udara bergantung pada temperatur udara.

$$c = 331{,}4\frac{m}{s} + 0{,}6\frac{m}{s^{o}C}.T$$

C = Kecepatan penyebaran

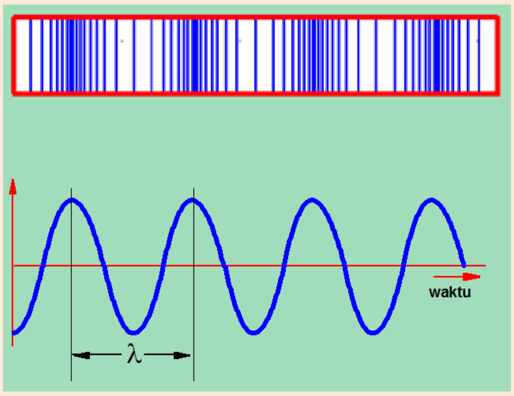
T = Temperatur udara (°C)

Dalam akustik pada utamanya tertarik pada penyebaran suara dalam udara. Penyebarannya sangat tergantung pada temperature seperti ditunjukkan pada Tabel 1.2 berikut ini.

Tabel 1.2 : Penyebaran Suara dalam Udara	
Temperatur	Kecepatan c dalam m/s
-30°C	302,9
0°C	331,8
10°C	338
20°C	344
30°C	349,6
100°C	390

Selain dipengaruhi oleh temperatur, kecepatan rambat suara juga dipengaruhi oleh tekanan udara dan kandungan karbondioksida.

1.5. Panjang gelombang



Gambar 1.6 Panjang gelombang

Jika sebuah getaran menyebar dalam sebuah media sebagai gelombang pada posisi tertentu, dalam jarak yang sama pada keadaan getaran bersangkutan misalnya :

Jarak antara ketebalan terbesar dari molekul udara. Jarak ini disebut panjang gelombang

Antara kecepatan penyebaran bunyi c, panjang gelombang λ dan frekuensi sebuah suara terdapat hubungan seperti berikut :

$$c = 331{,}4\frac{m}{s} + 0{,}6\frac{m}{s^{o}C}.T$$

c = kecepatan bunyi dalam m/s

λ = panjang gelombang dalam m

f = frekuensi dalam Hz

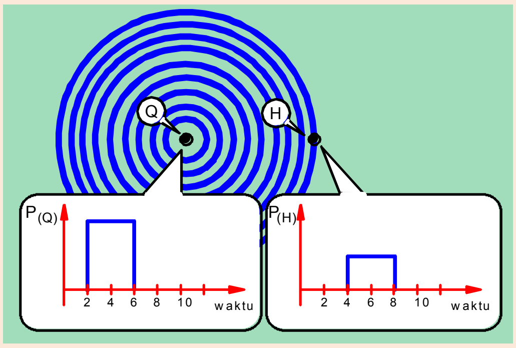
Pada tabel 1.3 diperlihatkan panjang gelombang pada frekuensi yang berbeda dalam frekuensi pendengaran. Perbedaan panjang gelombang pada daerah pendengaran antara 21,5m sampai 1,72cm. Data ini sangat penting misalnya untuk membuat kotak loudspeaker.

Tabel 1.3 : Panjang gelombang	
Frekuensi f dalam Hz	Panjang gelombang λ dalam m
16	21,5
100	3,4
800	0,43
1.000	0,34
5.000	0,069
10.000	0,034
20.0000	0,0172

1.6 Akustik ruangan

Dalam akustik ruangan merangkum semua problem penyebaran bunyi dalam ruangan yang tertutup.

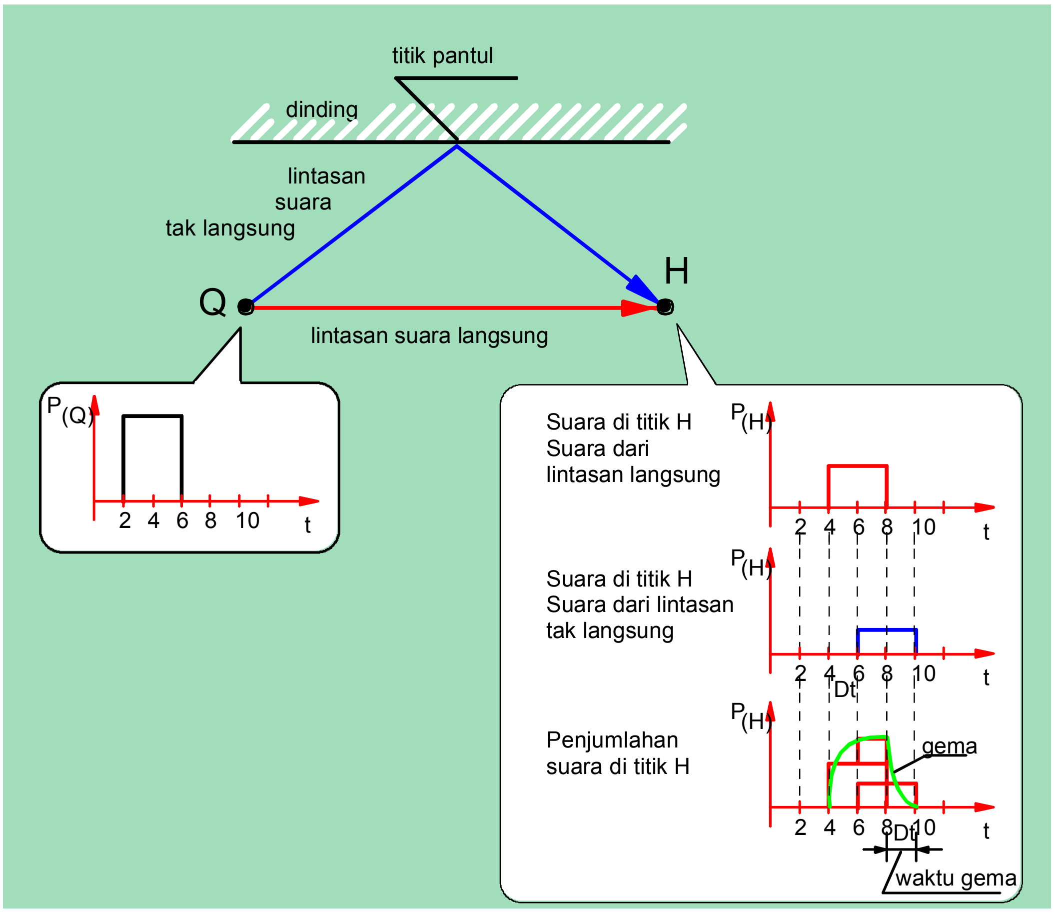
Didalam ruang bebas yang absolut, bunyi menyebar dari sumber bunyi berbentuk bola. Gambar 1.7 memperjelas hubungan ini.



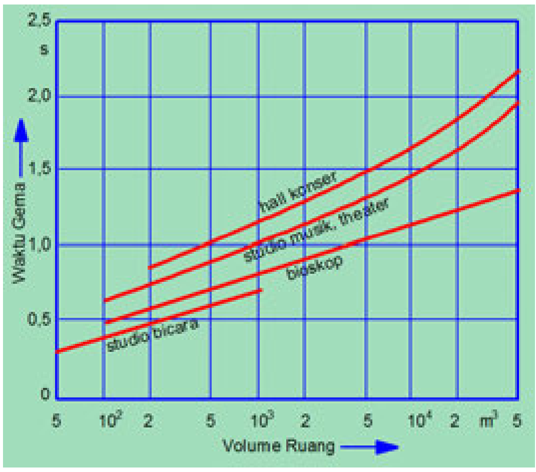
Gambar 1.7. Rambatan suara dalam ruang bebas

Sumber bunyi membangkitkan pulsa bunyi. (misal, lamanya 4 detik), bunyi mencapai titik dengar H setelah beberapa saat. Selain terlambat juga amplitudonya kecil. Intensitas bunyi menurun dibanding dengan kuadrat jaraknya. Sedang bentuk pulsanya sama dengan pulsa sumbernya.

Pada Gambar 1.8 diperlihatkan,jika misalnya ada sebuah didinding pantul, maka pada titik penerima (titik H) akan terdapat penjumlahan antara suara langsung dengan suara dari lintasa tak langsung. Pada detik ke 6 dan ke 8 terdapat penguatan suara. Hal ini memiliki efek baik,karena ada penaikan level suara,tetapi juga menimbulkan keburukan,yaitu adanya gema (detik ke 8-10). Hal ini baik jika hanya beberapa derajat tertentu.



Gambar 1.8. Hubungan suara lintasan langsung dan tak langsung.



Gambar 1.9. Waktu gema dalam keterpengaruhan dengan volume ruang

Untuk pidato dan musik cepat, gema yang panjang dapat mengaburkan informasi. Untuk reproduksi pidato dalam ruangan dengan volume menengah dan untuk kejelasan informasi yang baik,maka waktu gema sekita 0,8detik.

Musik yang direproduksi dalam ruangan yang sangat sedikit waktu gema,akan bunyinya akan "mati". Gema akan memperbaiki kualitas musik dengan waktu gema antara 1,5 sampai 2,5detik. Pada Gambar 1.9 diperlihatkan waktu gema yang rendah untuk bermacam-macam ruangan.

Dalam ruangan yang memiliki dinding paralel akan timbul pula gema yang bergetar (*Flutter Echo*). Pada ruangan yang demikian, suara akan berpantul bolak-balik. Untuk menghilangkan efek gema dalam ruangan, maka digunakan bahan dinding yang dapat menyerap suara.

Hanya sayangnya tidak ada bahan yang dapat menyerap suara untuk keseluruhan daerah frekuensi. Maka digunakan beberapa bahan yang kemudian dikombinasi. Terdapat dua grup bahan penyerap suara.

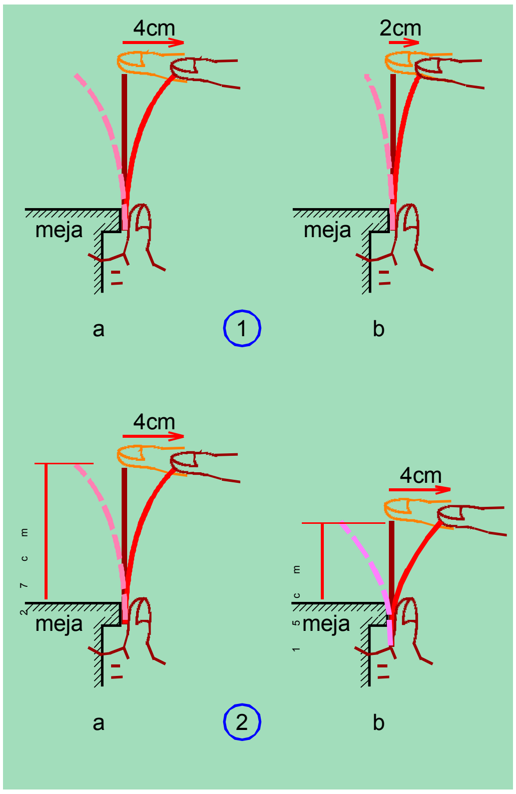
Pertama, bahan berpori-pori, bahan ini seperti karpet, pelapis furnitur,tirai, *glass woll* dan sebagainya. Pada bahan ini suara akan menerobos masuk dalam pori-pori, semakin tinggi frekuensi semakin baik.

Kedua, bahan berosilasi, penggunaan kayu lapis, hardboard dan panel kayu, dinding furnitur dan lainnya. Melalui beberapa permukaan datar dan licin suara berfrekuesi tinggi akan dipantulkan. Pada frekuensi rendah bahan ini dirangsang untuk bergetar. Dalam hal konsumsi energi,

TUGAS 1

Lakukan percobaan berikut ini

Alat : Batang penggaris mika 30cm



Tindakan 1:

a. Jepit penggaris dengan ibu jari tangan kiri di bibir meja, tarik ujung atas dengan jari sejauh 4cmm

b. Lakukan hal yang sama dengan angka 1, tetapi ujung atas ditarik sejauh 2cm.

Tindakan 2:

a. Lakukan percobaan seperti 1a, lanjutkan dengan percobaan berikut:

b. Panjang penggaris diturunkan menjadi 15cm saja diatas meja, tarik ujung penggaris sejauh 4cmm

Kesimpulan : …………………………………………..……………………………

……………………………………………………..……………………………………

……………………………..……………………..……………………………………

……………………………..……………………..……………………………………

………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………

……………………………………………………………………………

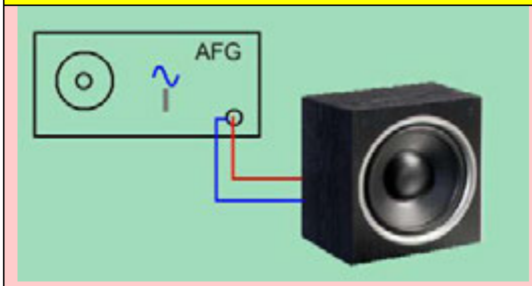


TUGAS 2

Lakukan percobaan berikut ini

Alat : Generator fungsi (FG) Zo=50Ω

Loudspeaker 5” dengan ring karet

Gambar	Tindakan 1:
	a. Atur generator fungsi dengan bentuk gelombang sinus, amplitudo 5Vpp, frekuensi 1kHz. b. Ubah frekuensi menjadi 100Hz
	Tindakan 2
	Dengan frekuensi 100Hz ubah amplitudo kecil dan besar, perhatikan gerakan membran.
	Tindakan 3:
	Atur frekuensi dari paling rendah naik terus sampai frekuensi sedikit diatas 20kHz. Catat mulai dari frekuensi berapa dapat mendengar suara, dan sampai frekuensi berapa mulai tidak mendengar

Kesimpulan :

Tindakan 1 …………………………………………..…………………………….

……………………………………………………..……………………………………

……………………………………………………..……………………………………

Tindakan 2 …………………………………………..…………………………….

……………………………………………………..……………………………………

……………………………………………………..……………………………………

Tindakan 3 ………………………………………………..…………………………….
…………………………..…………………………..………………………………………
…………………………..…………………………..………………………………………

PERTANYAAN	S/B
1. Bunyi dibangkitkan dari getaran suatu materi	
2. Besaran bunyi ada dua yaitu frekuensi dan amplitudo	
3. Getaran suara menyebar melalui media, maka ketika di dalam ruang hampa kita dapat mendengarkan bunyi.	
4. Rumus untuk menghitung frekuensi f = 1 X T	
5. Frekuensi suara yang dapat didengar antara 20Hz-20kHz	
6. Tekanan bunyi 0dB memiliki tekanan sebesar $2x10^{-4}\mu bar$	
7. Tekanan bunyi maksimum disebut pula dengan ambang dengar.	
8. Suara merambat pada gelas lebih cepat dari pada merambat dalam air.	
9. kecepatan penyebaran bunyi dalam udara pada temperatur 20^oC adalah 433m/s	
10. Anda melihat sebuah kilat dikejauhan, setelah mata petir berjalan 3 detik sampai guruh itu tiba pada anda, maka jarak guruk itu sekitar 1km	

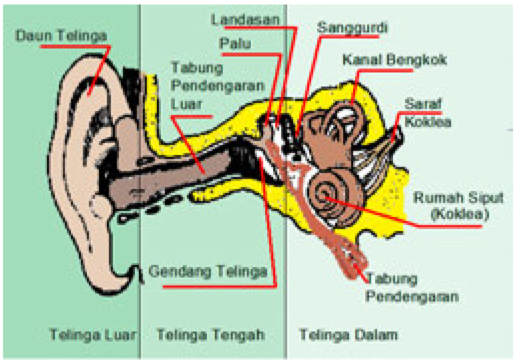
Psikoakustik Telinga Manusia 2

KOMPETENSI INTI (KI-3)	*KOMPETENSI INTI (KI-4)*
Kompetensi Dasar (KD): 2. Memahami psikoakustik anatomi telinga manusia	Kompetensi Dasar (KD): 2. Mendimensikan ambang batas daerah dengar telinga manusia
Indikator: 2.1. Menjelaskan anatomy dan fungsi telinga manusia. 2.2. Memahami anatomy dan fungsi telinga manusia. 2.3. Memahami ambang batas daerah dengar sensasi telinga manusia. 2.4. Menginterprestasikan level suara dalam satuandecibel (dB). 2.5. Menginterprestasikan level suara dalam satuandecibel (dB-SPL)..	Indikator: 2.1. Mencontohkan gambar anatomitelinga untuk menjelaskan psiko-akustik telinga manusia. 2.2. Menguji kepekaan telinga terhadap perubahan frekuensi dan amplitudo sumber suara. 2.3. Menguji dan mendemontrasikan ambang batas daerah dengar sensasi telinga manusia. 2.4. Mengukur level suara dalam satuan decibel (dB) dalam media dan karakteristik lingkungan yang berbeda. 2.5. Mengkonversi level suara dalam satuan decibel (dB-SPL) dalam media dan karakteristik lingkungan yang berbeda.

2.Psikoakustik Telinga Manusia

2.1 Anatomi dan fungsi telinga manusia

Manusia mendengarkan suara dengan telinganya. Dalam telinga getaran suara diubah menjadi perasaan terhadap suara, yang di otak akan menimbulkan efek suara subyektif.



Gambar 2.1 Susunan telinga

Secara anatomi, telinga manusia terdiri dari 3 bagian, telinga luar, telinga tengah dan telinga dalam. Telinga luar berfungsi untuk menangkap suara, yang kemudian dilalukan ke telinga tengah dan terakhir ke telinga dalam, yang sesungguhnya sebagai organ pendengaran.

Telinga luar yang terdiri dari daun telinga, karena bentuknya sangat baik untuk mengetahui arah dari mana suara datang. Pada telinga tengah yang berupa tabung, karena dimensinya, menyebabkan penerimaan yang baik pada frekuensi 3.000Hz. Pada telinga tengah ini mengubah tekanan udara menjadi gerakan mekanis. “Mekanik “ terdiri dari “Palu, landasan, sanggurdi.dengan hubungan yang elastis bagian ini mengakibatkan ketidak linieran dari perasaan bunyi yang didengar, maksudnya : Frekuensi tertentu dilakukan lebih baik dari yang lain. Pada tekanan bunyi yang besar timbul cacat. Telinga tengah yang dimulai gendang telinga, Getaran mekanis diubah menjadi pulsa listrik, yang mana oleh urat syaraf dialirkan ke otak. Pulsa listrik ini mengakibatkan penekanan subyektif kuat suara dari bunyi. Dengan melalui sekitar 24.000 saraf yang satu sama lain terisolasi, menghubungkan pulsa listrik yang didapat ke otak. Maka telinga manusia dapat membedakan sekitar 3.000 tingkatan nada, jika dibandingkan dengan piano hanya memiliki 84 nada dan orgen memiliki 108 nada.

2.2Ambang dengar dan batas sakit

Telinga manusia mempunya kepekaan yang luar biasa, selain mampu membedakan nada juga kuat suara. Serta dengan kemampuan Dengan kemampuan menangkap frekuensi dari 16Hz hingga 20.000Hz,telinga mempunyai kepekaan terbesar, ditentukan oleh susunannya, dalam jangkauan frekuensi dari 1.000Hz sampai 4.000Hz.

Ambang dengar pada 1.000Hz berharga $2{\cdot}10^{-4}$µbar dan maksimum telinga dapat mendengar (batas sakit) berharga 200 µbar.Dengan demikian telinga mengamati tekanan bunyi dari 2.10^{-4}µbar sampai 200µbar atau dalam perbandingan telinga memiliki daerah kepekaan 1:1.000.000

Catatan :	Ambang dengar $p_o=2{\cdot}10^{-4}$µbar; batas sakit p1=200µbar, maka : $$\frac{2\cdot10^{-4}\,\mu bar}{200\mu bar}=\frac{1}{1.000.000}$$

2.3. Kuat Suara

Daerah tekanan suara yang bisa didengar antara ambang dengar dan batas sakit memiliki $1{:}10^{6}$ dan ini sangat lebar. Dalam prakteknya,perbandingan ini tidaklah linear,melainkan dalam ukuran logatimis. Ukuran logaritmis dari sebuah perbandingandiberi satuan Bell, supaya tidak timbul koma dalam pengukuran dan perhitungan maka satuan yang digunakan desi Bell (dB) atau seper sepuluh dari satuan dasar.

Desi Bell (dB) merupakan satuan untuk perbandingan, perbandingan ini digunakan referensi standar yang berbeda. Sebagai contoh, dBV digunakan untuk referensi 1Volt, dBm digunakan untuk reverensi 1miliWatt.

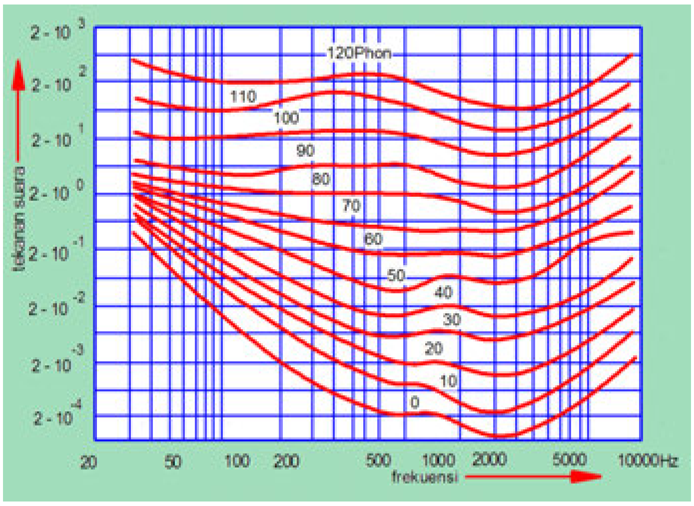
Dalam audio atau akustik digunakan dB SPL (Sound Pressure Level) sebagai adalah ambang dengar dengan tekanan suara $p_o=2{\cdot}10^{-4}$µbar, besaran ini juga disebut sebagai level suara absolut. 0dB SPL merupakan ambang pendengaran bagi kebanyakan telinga manusia.

$L=20\log\frac{p}{p_o}$	L = level suara dalam dB p = tekanan suara p_o =tekanan bunyi pada ambang dengar $2{\cdot}10^{-4}$µbar

Batas sakit pada 1.000Hz dengan tekanan suara p=200 µbar terletak sekitar 120dB diatas ambang dengar.

Manusia tidak merasakan tekanan suara,yang sebenarnya secara fisika dapat diukur, tetapi kuat suara. Hubungan antara kepekaan telinga terhadap kuat suara dengan intensitas suara dengan pendekatan hubungan logaritmis (hukum Weber-Fechne). Oleh karena itu, seperti telah ditetapkan level bunyi absolut, yang karena ukurannya yang lagaritmis maka digunakan juga sebagai ukuran kuat suara.

Yang juga harus diperhatikan, sensitifitas kuat suara telinga manusia sangat tergantung dengan frekuensi suara (Gambar 2.2).



Gambar 2.2. Ketergantungan tekanan suara dan frekuensi

Oleh karena itu, transisi dari level suara bergantung frekuensi pada kuat suara didasarkan pada frekuensi tertentu yang ditetapkan. Secara internasional, ditetapkan frekuensi 1.000Hz.

L/dB = Λ/Phon $\Lambda = 20 \log \frac{p}{p_o}$	L = level suara absolut dalam dB Λ = kuat suara dalam phon p = tekanan suara p_o = tekanan bunyi pada ambang dengar $2{\cdot}10^{-4}$µbar

Kuat suara merupakan logaritma dari faktor perbandingan terhadap tekanan suara pada ambang dengar. Satuan dari kuat suara adalah Phon (Λ merupakan huruf besar yunani untuk lamda)

Catatan :	Kuat suara dalam Phon sesuai dengan level suara absolut dalam dB pada frekuensi 1.000Hz

Dari Gambar 2.2 terlihat bahwa pada kuat suara yang rendah (60Phon kebawah), untuk dapat mendengar sama kerasnya, maka suara dengan frekuensi rendah dan tinggi harus dikuatkan lebih tinggi dari frekuensi tengahnya. Pada kuat suara yang tinggi (70 Phon keatas), kuat suara merata pada semua daerah frekuensi.

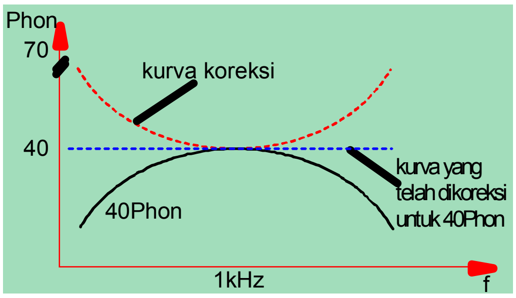
Berdasarkan sifat tersebut,maka pada penguat suara untuk mengatur kuat suara dikenal dengan pengaturan kuat suara dengan loudness. Pengaturan kuat suara sesuai psikologis

2.4.Pengaturan kuat suara sesuai pendengaran

Kuat suara dalam mendengarkan konser, pembicaraan dan sebagainya dalam hall atau dalam ruangan bebas berkisar 70 Phon. Perasaan terhadap kuat suara hampir datar, Lihat gambar kurva pada gambar 2.2. Semua suara dalam daerah frekuensi dir paya timbul tekanan pendengaran yang sama, suara berfrekuensi tinggi dan rendah asakan sama kuatnya.

Kita dengarkan sebuah konser atau pembicaraan dalam kamar melalui radio atau penguat, kuat suara akan berkisar sekitar 40 phon. Pada 40 phon pendengaran sangat bergantung pada frekuensi, maksudanya frekuensi tinggi dan rendah akan sedikit lemah didengar.

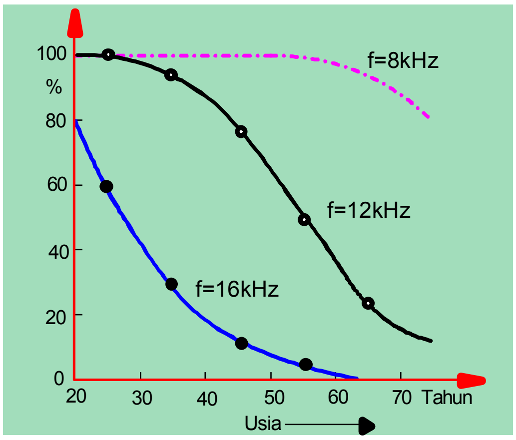
Su pada kuat suara yang rendah harus direproduksi lebih kuat, dengan ini dicapai pengaturan kuat suara sesuai pendengaran pada radio atau penguat.



Gambar 2.3 Skematis “ Pengaturan kuat suara sesuai pendengaran”

Tinggi nada, warna bunyi Frekuensi dari sebuah getaran bunyi dirasakan oleh pendengaran sebagai tinggi nada. Frekuensi terendah yang terdengar terletak pada 16 Hz, sedang yang tertinggi pada 10 sampai 20 KHz, ditengah pada 16 KHz.

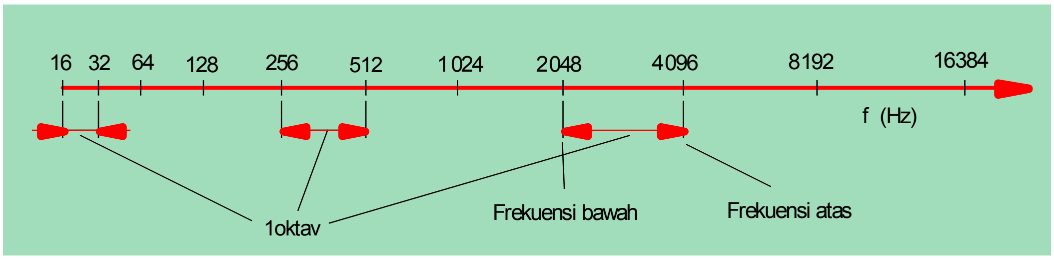
Batas dengar atas menurun dengan bertambahnya umur, karena kendang telinga, sambungan palu, amboss dan sebagainya telah mengeras.



Gambar 2.4 Penurunan perasaan mendengar untuk frekuensi tinggi dengan bertambahnya usia.

Antara perasaan terhadap tinggi suara dan frekuensi bunyi terdapat hubungan logaritmis, sesuai seperti antara kepekaan kuat suara dan tekanan bunyi.

Dalam akustik dan dalam musik daerah pendengaran seluruhnya dari 16Hz sampai dengan 16kHz dibagi dalam bagian-bagian. Frekuensi tertinggi dan terendah berbanding 2 : 1 , yang dinamakan oktav.



Gambar 2.5. Perbandingan frekuensi 2 : 1.

Banyaknya oktav $\eta = \frac{\log \frac{fo}{fu}}{\log 2}$

η = (Eta) Banyaknya oktav

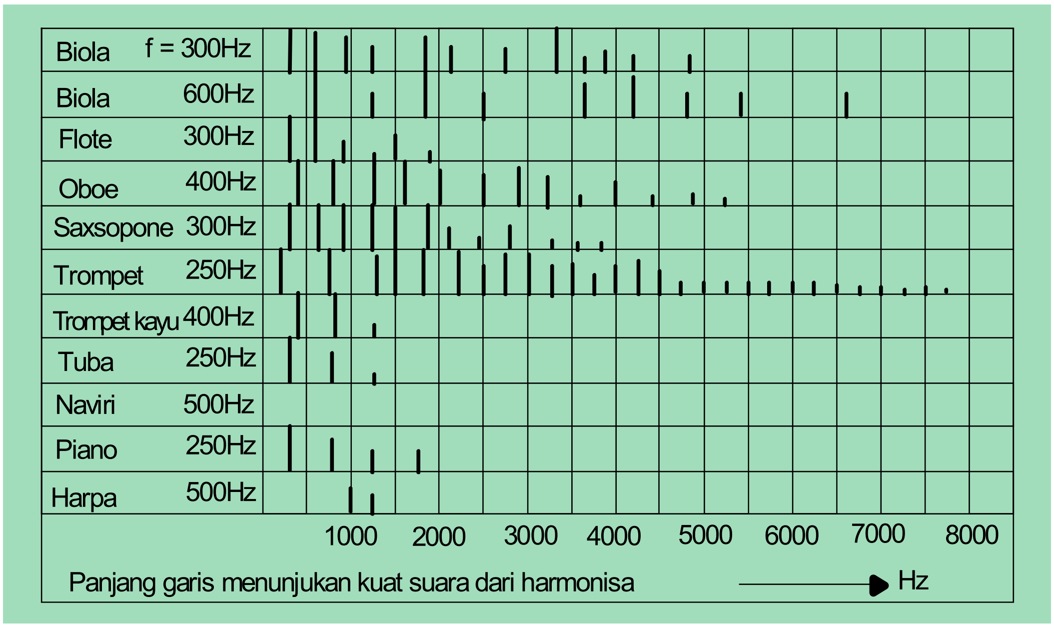
fo = Frekuensi atas

fu = frekuensi bawah

Pada musik atau reproduksi pembicaraan hanya dalam kejadian khusus direproduksi frekuensi murni. Lebih banyak reproduksi dari campuran suara dimana terdapat nada dasar dan perbanyakan nada dasar yang disebut dengan hamonisa.

Nada dasar dan hamonisa menimbulkan bunyi. Bagaimana bunyi berbunyi (warna bunyi) ditentukan oleh hitungan dan amplitudo harmonisa.

Harmonis adalah, yang memungkinkan instrumen, pembicaraan dsb berbunyi berlainan.



Gambar 2.6. Harmonisa instrumen musik

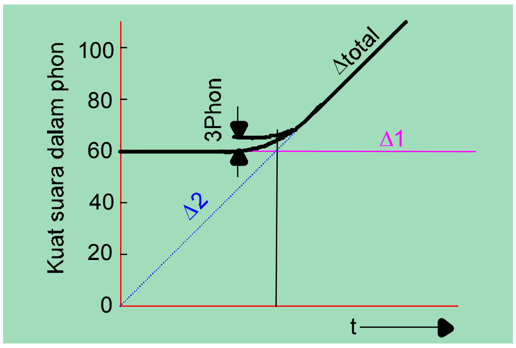
2.5. Hubungan dari sumber-sumber bunyi

Secara bersama-sama beberapa sumber bunyi dijalankan, maka intensitas keseluruhan secara penekatan sama dengan jumlah intensitas bunyi sendirian. Dengan demikian secara umum naik juga kuat suara yang dirasakan.Pada dua sumber bunyi yang sama kuatnya intensitas keseluruhannya akan lebih besar dari level sinyal sekitar 3 dB lebih tinggi dari sumber sinyal sendirian.



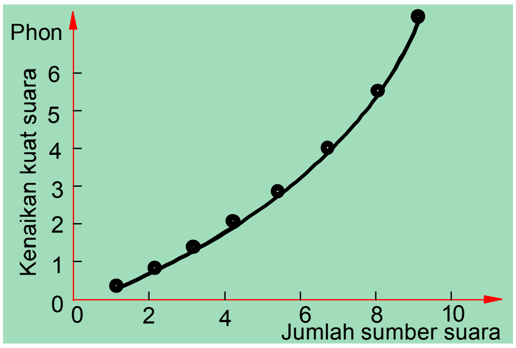
Catatan : Dua sumber bunyi yang sama kerasnya membangkitkan kuat suara keseluruhan, yang sekitar 3 phon lebih tinggi dari kuat suara sendirian.

Ini tidak hanya berlaku untuk sumber suara yang lemah (misal Δ1 = Δ2 = 30 phon, total = 33 phon), melainkan juga untuk yang keras (Δ1 = Δ2 = 80 phon, total = 83 phon)



Gambar 2.7. . Suara keseluruhan pada dua kuat suara yamg berlainan

Gambar 2.7. Kuat suara keseluruhan pada dua kuat suara yang berlainan. Gambar menunjukkan kuat suara keseluruhan Δtot dalam ketergantungan waktu t, jika kuat suara yang konstan Δ1 dan sebuah kuat suara yang menaik. Pada titik potongan Δ1 dan Δ2 dimana keduanya sama besar maka Δ tot sekitar 3 phon lebih tinggi dari kuat suara sendirian.



Gambar 2.8 Kenaikan kuat suara pada sumber bunyi yang sama kuat.

Pada waktu yang lain kuat suara keseluruhan hampir tidak lebih besar dari pada yang lebih besar dari keduanya.

Gambar 2.8 menunjukkan , sekitar berapa phon kuat suara dinaikkan, jika beberapa sumber bunyi yang sama kuatnya bekerja bersama

2.6.Pendengaran secara ruangan

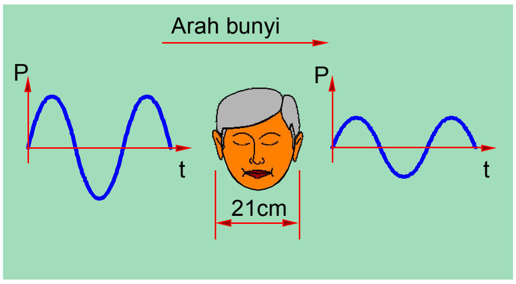
Dengan telinga kita tidak hanya mendengar kuat suara atau warna bunyi dari sebuah bunyi. Karena berpasangannya alat pendengar, sehingga dapat untuk menentukan arah dan jarak.

Orang menamakan kemampuan ini dengan kemampuan melokalisir dan berbicara tentang pendengaran secara ruangan.

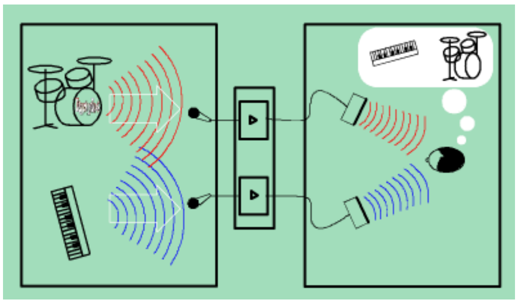
Melokalisir sebuah sumber bunyi tanpa melalui penglihatan dapat dibagi atas tiga daerah utama :

- Jarak (dekat - jauh) lokalisir kerendahan
- Arah dalam bidang tegak lurus (atas-bawah) lokalisisr ketinggian
- Arah dalam bidang kesetimbangan (kanan-kiri) lokalisisir sisi.

Paling baik mengembangkan adalah daya melokalisir sisi. Kemampuan memilah kanan-kiri ini karena letak kedua telinga dengan jarak kira-kira 21 cm. Jika ada bunyi berada agak disebelah kiri, maka telinga kiri akan mendengar lebih kuat dibandingkan telinga sebelah kanan. Dengan demikian pada peninjauan terdapat kejadian bunyi antara telinga kanan-dan kiri tidak hanya sebuah perbedaan waktu berjalan t melainkan juga perbedaan intensitas bunyi.



Gambar 2.9.Intensitas bunyi dan perbedaan waktu berjalan



Gambar 2.10. Prinsip pemindahan stereo

Stereophoni pada dasarnya pada perekaman reproduksi bunyi memperhatikan “efek kanan-kiri” ini.

TUGAS 1

Alat : Sound Level Meter

Lakukan pengukuran kebisingan pada ruang-ruang berikut ini :

Ruang	Level Bising (dB)
Ruang Kepala Sekolah	
Ruang Tata Usaha	
Kelas Teori (kosong)	
Kelas Teori (ada siswa, tiada guru)	
Bengkel ……………..	
Bengkel ……………..	
Bengkel ……………..	

Kesimpulan : …………………………………………...………………………

……..………………………………..………………………..……………….....………

……..………………………………..………………………..……………….....………

……..………………………………..………………………..……………….....………

TUGAS 2

Alat : Pemutar lagu

Penguat Suara

Putarlah lagu dengan volume lemah sekitar 10% putaran tombol volume, selanjutnya putar tombol volume 30%, dan terakhir putar tombol volume 60% dari putaran penuh. Perhatikan nada-nada bass trebel dan vokal

Posisi tombol volume	Pengamatan keterdengaran nada bass trebel vokal
10%	
30%	
60%	

Kesimpulan : ……………………………………………...……………………

……..……………………………..……………………..……………….…..………

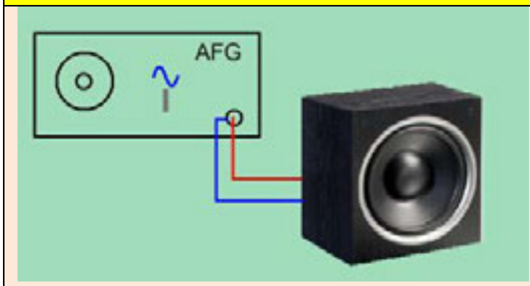
……..……………………………..……………………..……………….…..………

TUGAS 3

Lakukan percobaan berikut ini

Alat : Generator fungsi (FG) Zo=50Ω

Loudspeaker (bisa yang aktif)

gambar	Tindakan :
	a. Atur generator fungsi dengan bentuk gelombang sinus, amplitudo disesuaikan tidak terlampau keras, frekuensi 1kHz. b. Ubah-ubahlah bentuk gelombang dari sinus ke segi tiga terus ganti kotak. Perhatikan bunyi pada bentuk gelombang yang berbeda.

Kesimpulan : …………………………………………...……………………

……..……………………………..…………………………..………………….....………

……..……………………………..…………………………..………………….....………

PERTANYAAN	S/B
1. Kepekaan telinga cukup baik pada frekuensi diatas 10kHz.	
2. Ambang dengar telinga pada $2 \cdot 10^{-4}$ μbar	
3. Sound Level meter menunjukkan nilai 20dB, artinya tekanan bunyinya sebesar $2 \cdot 10^{-3}$ μbar	
4. Dengan pengaturan nada yang datar dan volume suara yang lemah, maka nada bass akan sangat menonjol terdengar.	
5. Kemampuan dengar yang paling cepat menurun dengan bertambahnya usia adalah suara frekuensi tinggi.	
6. Pembagian frekuensi dengan besaran 16,32,64 dst, memperlihatkan bahwa daerah frekuensi itu dibagi secara oktav.	
7. Yang menyebabkan berbedanya warna bunyi adalah frekuensi dasar.	
8. Dua sumber suara jika masing-masing berbunyi dengan kuat suara sebesar Δ1=40Phon dan Δ2=20Phon, maka secara keseluruhan akan dominan terdengar sumber bunyi Δ1.	
9. Kemampuan memenentukan asal suara karena selain bentuk telinga juga letak kedua telinga tersebut.	
10. Karena kemampuan telinga dalam menentukan arah datang suara, maka dalam sistem audio sangat baik dikembangkan sistem monophonik.	

Mikrophon 4

KOMPETENSI INTI (KI-3)

Kompetensi Dasar (KD):

4. Menerapkan instalasi macam-macam tipe mikrofon pada sistem akustik

Indikator:

4.1. Menjelaskan terminologi karakteristik mikrofon sistem akustik suara.

4.2. Mengklasifikasi mikrofon sistem akustik suara.

4.3. Memahami konsep dasar struktur mikrofon berdasarkan tipenya.

4.4. Menentukan sensitivitas sebuah mikrofon berdasarkan data teknis.

4.5. Menjelaskan prinsip kerja macam-macam tipe mikrofon.

4.6. Memahami sistem mikrofon tanpa kabel (wireless microphone) pada sistem akustik suara.

4.7. Menginterprestasikan koordinasi frekuensi (frequency coordination) yang digunakan pada sistem mikrofon tanpa kabel.

4.8. Memahami kegunaan *bodypack transmitters* pada sistem mikrofon tanpa kabel.

4.9. Menerapkan instalasi macam-macam tipe mikrofon pada sistem akustik

KOMPETENSI INTI (KI-4)

Kompetensi Dasar (KD):

4. Menguji mikrofon pada sistem akustik pada posisi dengan level sumber bunyi yang berbeda-beda

Indikator:

4.1. Menguji macam-macam mikrofon dan interprestasi karakteristik mikrofon berdasarkan hasil pengujian

4.2. Memilih jenis dan tipe mikrofon sesui dengan kebutuhan sistem akustik suara.

4.3. Memilih dan menempatkan Headset Microphones sistem akustik suara.

4.4. Mendimensikan sensitivitas sebuah mikrofon berdasarkan spesifikasi data teknis.

4.5. Memilih dan mendimensikan Boundry Microphones sistem akustik suara.

4.6. Memasang mikrofon tanpa kabel (wireless microphone) pada sistem akustik suara.

4.7. Mengetes frekuensi kerja mikrofon tanpa kabel.

4.8. Mengeteskepekaan bodypack transmitters pada sistem mikrofon tanpa kabel.

4.9. Menentukan tata letak sistem penerima dan antena (receivers and antennas) sistem mikrofon tanpa kabel

4. Instalasi macam-macam tipe mikrofon pada sistem akustik

Mikropon mengubah energi bunyi kedalam energi listrik dan dengan demikian mikropon sebagai penerima bunyi sebaliknya yang merubah energi listrik kedalam energi bunyi disebut Loudspeaker

Dan dengan demikian sebagai pemancar bunyi. keduanya disebut pengubah elektro akustik (pengubah bunyi).

Berdasarkan hukum fisika sebagian dapat digunakan berkebalikan, bahwa sebuah pengubah bunyi dapat bertindak sebagai mikropon ataupun loudspeaker seperti pada pesawat intercom.

4.1. Karakteristik mikrofon.

4.1.1. Spesifikasi mikropon

Kepekaan

Kepekaan sebuah mikropon adalah besar tegangan bolak-balik keluaran mikropon pada keadaan bunyi bebas dengan tekanan 1 µbar. Sebagai satuan diberikan mV/µbar (mili volt per mikro bar). Kepekaan mikropon bergantung frekuensi, sehingga besarnya frekuensi harus diberikan. Secara umum diambil frekuensi sebesar 1000 Hz.

Kepekaan juga disebut “faktor pemindahan medan beban kosong” Faktor ini diukur dalam medan bunyi bebas dan tanpa beban. Menurut sistim SI, faktor pemidahan medan beban kosong tidak lagi ditarik atas 1 /µbar, melainkan 1N/m2 (newton 1mV//µbar = 10mV/Pa.

Daerah frekuensi

Daerah frekuensi atau daerah pemindahan aalah daerah dimana mikropon tanpa kerugian kepekaan dan tanpa cacat dapat mengubah gelombang bunyi kedalam sinyal listrik.

Untuk perekaman musik, mikropon seharusnya mempunyai daerah frekuensi dari 40 Hz sampai 15 kHz dan tanpa perubahan kepekaan yang besar, sedang untuk percakapan cukup dari 200 Hz sampai 5000 Hz.

Tanggapan frekuensi

Tanggapan frekuensi atau kurva frekuensi menandakan keterpengaruhan frekuensi dari kepekaan. Pada pengukuran ini gelombang bunyi dengan frekuensi berlainan dijatuhkan tegak lurus dimuka mikropon dan tegangan keluarannya diukur. Faktor pemindahan a dalam dB yang sebelumnya mV/µbar, karena kurva frekuensi dengan level yang diambil berlaianan.

Dimana	B	= kepekaan dalam V/µbar
	Bo	= kepekaan patokan dari 1 V/µbar

Ketergantungan arah

Sebuah mikropon tidak dapat mengambil bunyi dari semua sisi sama kuat, jadi tegangan keluaran bergantung arah dari mana bunyi datang. Ketergantungan ini digambarkan melalui sifat arah, ketergantungan arah menentukan kemungkinan penggunaan mikropon.

Impedansi

Untuk hubungan sebuah mikropon pada sebuah perangkat penguat atau pada sebuah peralatan pita suara adalah penting untuk mengenal impedansi listrik (juga dinamakan tahanan dalam atau impedansi sumber).

Impedansi bergantung pada frekuensi, pada umumnya dinyatakan pada frekuensi 1000 Hz dalam satuan Ω (ohm).

Tahanan hubungan seharusnya

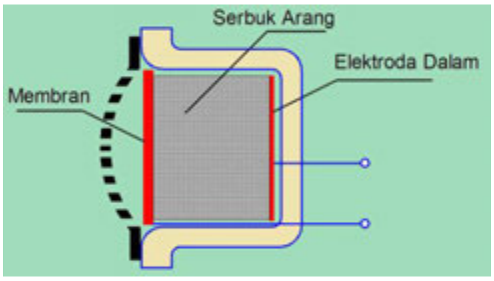
Juga dinamakan tahanan hubungan adalah hubungan semu, dengannya mikropon seharusnya dihubungkan. Pada tahanan hubungan yang kecil akan memperburuk sifat-sifat mikropon.

Batas pengendalian lebih

Batas pengendalian lebih adalah batas tekanan dimana mikropon masih bekerja dengan baik, maksudnya masih tanpa cacat. Mikropon dinamis dapat bekerja pada tekanan bunyi yang tinggi dan batas pengendalian lebih belum tercapai. Pada mikropon kondenser pernyataan ini diperlukan, pada pelanggaran batas yang disyaratkan akan mendatangkan cacat tidak linier dan dengan demikian faktor cacat akan naik. Batas pengendalian lebih ini diberikan dalam µbar atau pascal (Pa)

4.2. Struktur dan prinsip kerja macam-macam tipe mikrofon.

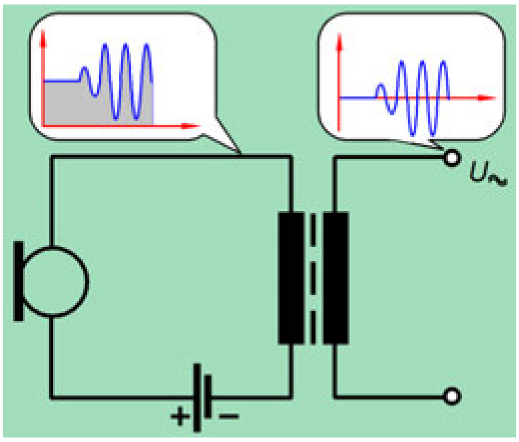
4.2.1. Mikropon arang



Gambar 4.1. Kunstruksi dasar mikropon arang

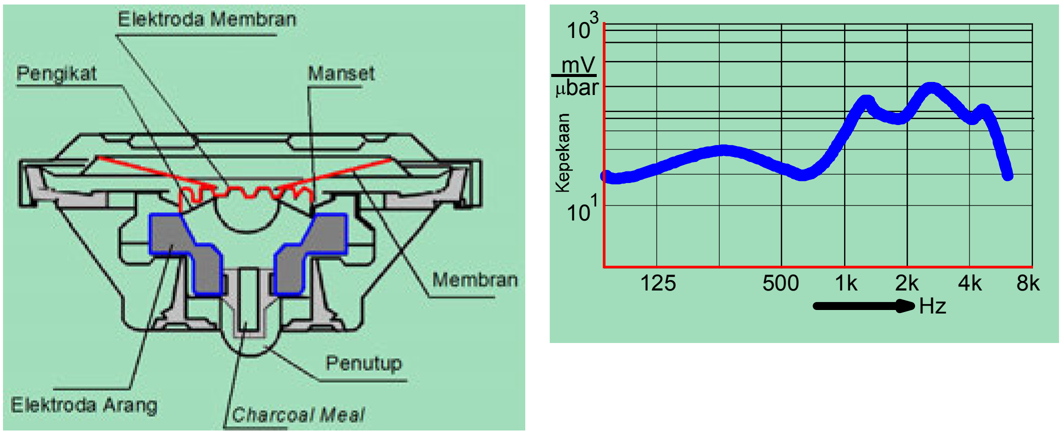
Konstruksi dasar mikropon arang tergambar didalam garis puts-putus.Jika gelombang bunyi mengenai elektroda membran, maka serbuk arang akan dipadatkan dan direnggangkan seirama gelombang bunyi. Dengan demikian nilai tahanan serbuk arang diantara kedua elektrodapun akan berubah-ubah

Mikropon arang mengubah gelombang bunyi kedalam perubahan nilai tahanan.



Gambar 4.2. Rangkaian mikropon arang

Arus searah dari baterai melewati tahanan arang yang berubah-ubah maka akan berubah-ubah pula besarnya. Transformator akan.memisahkan arus bolak-balik dengan arus searah, maka pada keluaran akan didapat tegangan bolak-balik murni ($U_{\approx}$).

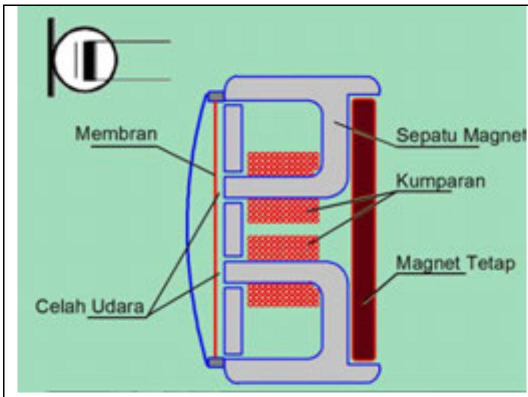


Gambar 4.3. Potongan mikropon telepon (kiri) dan tanggapan frekuensi mikropon arang (kanan).

Data teknis :

Tahanan dalam	: 30 sampai 500 Ω
Kepekaan	: 100 mV/µ bar = 1V/Pa pada 1000 Hz
Daerah frekuensi	: 800 Hz sampai 4000 Hz
Faktor cacat	: 20%
Tegangan catu	: antara 4V dan 60V
Keburukan	:desis sendiri besar, faktor cacat besar sangat bergantung suhu
Kebaikan	: kepekaan tinggi
Penggunaan	: untuk perangkat bicara seperti telepon.

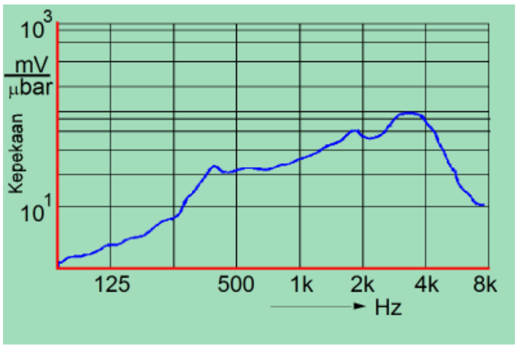
4.2.2. Mikropon elektromagnetis



Gambar 4.4. Simbol dan kunstruksi mikropon elektromagnetis

Konstruksi dasar diperlihatkan oleh Gambar 4.4, Gelombang bunyi menggetarkan membran. Maka celah udara antara membran dan kumparan berubah-ubah mengakibatkan rapat medan berubah-ubah dan menginduksi tegangan bolak-balik dalam kumparan. Tegangan ini seirama dengan getaran gelombang bunyi.

Pada mikropon elektromagnetis penginduksian tegangan atas dasar perubahan celah udara. Karena tegangan yang diinduksikan masih kecil maka diperlukan penguat tambahan.





Gambar 4.5. Tanggapan frekuensi mikropon elektromagnetis (kiri) dan Bentuk mikropon elektromagnetis dari Sennheiser (kanan)

Data teknis :

Tahanan dalam : 2000 Ω

Kepekaan : 100 mV/μ bar = 1V/Pa pada 1000 Hz dengan penguat

Daerah frekuensi : 300 Hz sampai 6000 Hz

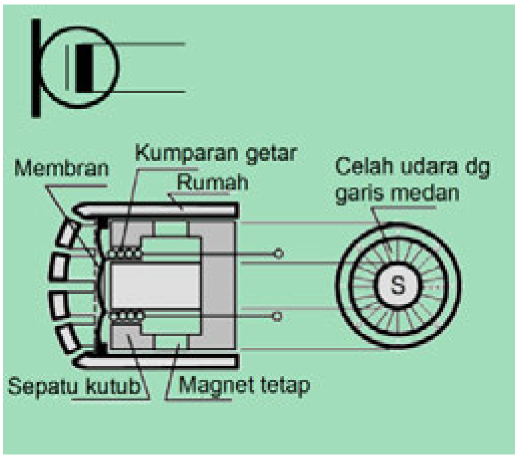
Faktor cacat : 10%

Tegangan bantu : antara 4V dan 60V

Penggunaan : Perangkat bicara, telepon, peralatan dengar, peralatan dekte.

4.2.3. Mikropon dinamik

Mikropon dinamik dengan kumparan



Gambar 4.6. Simbol mikropon dinamik dan kunstruksinya

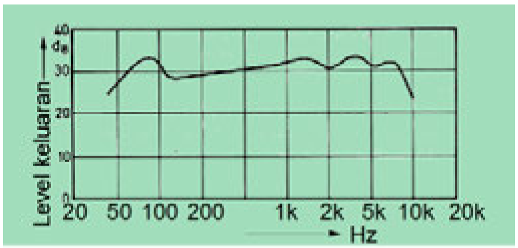
Pada mikropon dinamik tegangan bolak-balik dibangkitkan melalui induksi yang sebanding dengan kecepatan membran. Gelombang bunyi menggetarkan membran maka kumparanpun akan bergerak tegak lurus terhadap arah medan.

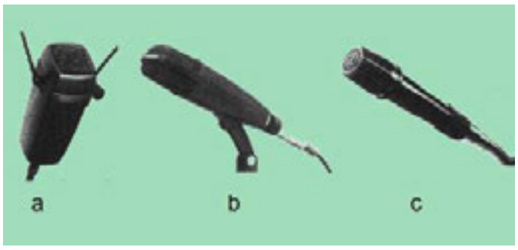
Sesuai dengan hukum induksi

$$E = N \cdot \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

Induksi tegangan yang dihasilkan sebanding dengan kecepatan geraknya. Karena tahanan dalamnya kecil maka, tidak peka terhadap medan gangguan listrik, karena tegangan gangguan ini akan terhubung singkat.

Atas dasar ini mikropon dapat dihubungkan pada penguat dengan penghubung yang panjang.



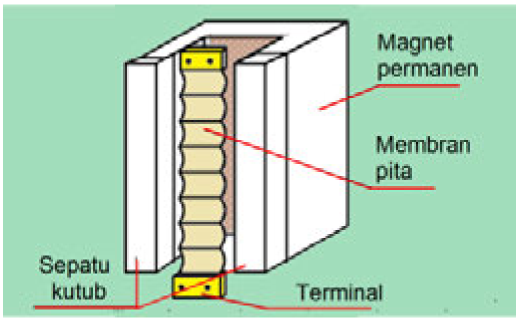


Gambar 4.7. Tanggapan frekuensi sebuah mikropon dinamik (kiri) dan kanan beberapa bentuk mikropon dinamik, a) mikropon kerah MD214 b) mikropon studio MD421 c) mikropon komando MD430 (dari Sennheiser)

Data teknis :

Tahanan dalam	: 200 Ω (induktip), dengan transformator terpasang 30 kΩ
Kepekaan	: 0,2 mV/μ bar = 2V/Pa pada 1000 Hz dengan penguat
Daerah frekuensi	: 500 Hz sampai 12.000 Hz
Faktor cacat	: 1%
Dinamik	: 60 dB
Kebaikan	:Tanpa tegangan bantu, hampir bebas cacat, daerah frekuensi lebar, tidak peka mekanis, lama hidup yang panjang, murah
Penggunaan	: Selain untuk perangkat bicara juga untuk perekam musik

Mikropon pita

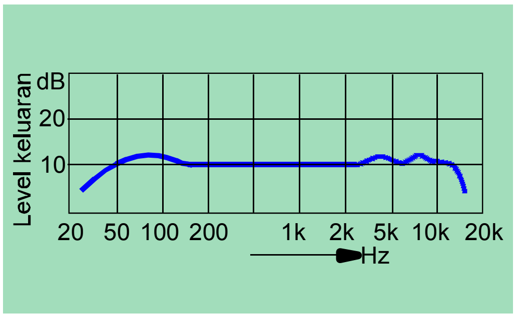


Gambar 4.8. Kunstruksi mikropon pita.

Pada mikropon pita, antara kedua sepatu kutub dari magnet yang kuat terdapat pita tipis alumunium yang bergelombang. Pita yang berfungsi sebagai membran tebalnya 2 - 5 μm dan lebar 3 - 4mm (lihat Gambar 4.8). Getaran gelombang bunyi menggtarkan pita.

Pita bergetar dalam medan magnet maka akan diinduksi tegangan dalam pita itu.

Tegangan yang terinduksi lebih kecil dari mikropon dengan kumparan. Tahanan pita berkisar 0,1 Ω jika dengan transformator impedansinya dapat sebesar 200Ω. Mikropon pita mempunyai daerah frekuensi yang lebar dan hampir konstan. Gambar tanggapan frekuensi dan contoh bentuk mikrophon pita diperlihatkan pada gambar 4.9.



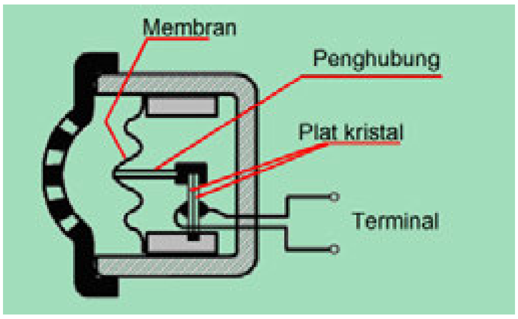


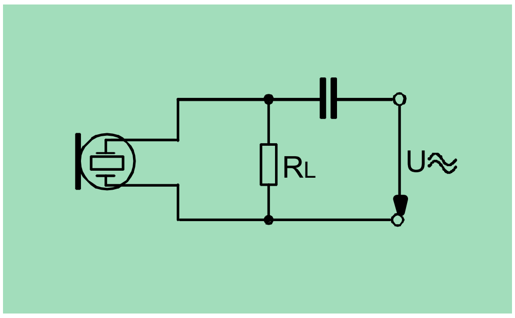
Gambar 4.9. Tanggapan frekuensi mikropon pita (kiri) dan contoh mikrophon pita

Data teknis :

Tahanan dalam	: 0,1 Ω (induktip), 200Ω dengan transformator
Kepekaan	: 0,08-0,2 mV/μ bar = 0,8-2 mV/Pa pada 1000 Hz
Daerah frekuensi	: 50 Hz sampai 18.000 Hz
Faktor cacat	: 0,5%
Dinamik	: 50 dB
Keburukan	: Peka pukulan,mahal, bentuknya besar
Kebaikan	: Cacat kecil, daerah frekuensi lebar
Penggunaan	: Perekaman musik dan bicara dengan kualitas tinggi

4.2.4. Mikropon kristal





Gambar 4.10. Kunstruksi mikropon kristal (kiri) dan rangkaian mikropon kristal

(kanan)

Pada mikropon kristal tegangan bolak-balik dibangkitkan dengan efek Piezo elektrik. Gelombang bunyi menggetarkan membran dan sekaligus menggetarkan plat kristal. Plat kristal yang bergetar pada permukaannya akan terbentuk pula perbedaan potensial diantara ujung-ujungnya.

Oleh karena itu tegangan mekanis menimbulkan tegangan listrik (efek piezoelektrik).

Tahanan dalam mikropon kristal dibentuk oleh kapasitas antara plat kristal (sekitar 1000 pF). Pada frekuensi batas bawah fb = 30 Hz mempunyai reaktansi sebesar kira-kira 5 MΩ sehingga pada frekuensi rendah medan pengganggu tidak terhubung singkat karena tahanan dalamnya tinggi, maka hubungan mikropon dengan penguat tidak boleh terlalu panjang.

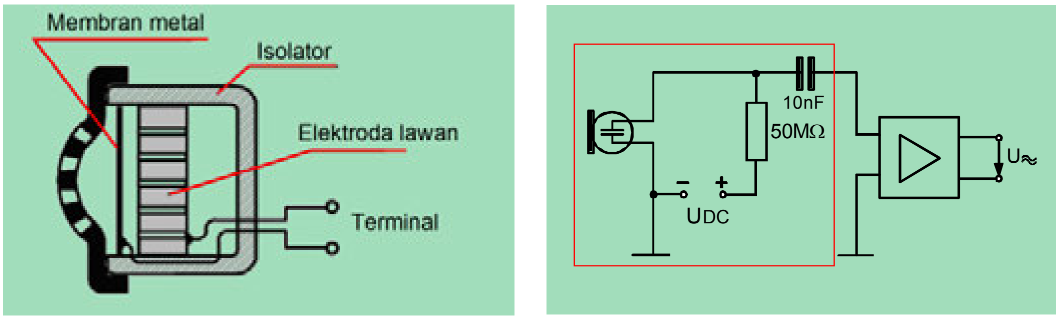
Data teknis :

Tahanan dalam	: 2…..5MΩ (kapasitip)
Kepekaan	: 2 mV/μ bar = 20 mV/Pa pada 1000 Hz
Daerah frekuensi	: 30 Hz sampai 10.000
Faktor cacat	: 1….2%
Dinamik	: 60 dB
Keburukan	: Harus dilindungi terhadap kelembaban dan panas.
Kebaikan	: Kecil, ringan , murah
Penggunaan	: Pada radio amatir, sebagai mikropon kecil

4.2.5. Mikropon kondenser

Pada mikropon kondenser membran dan elektroda lawan membentuk kapasitas (kira-kira 100pF). Mikropon kondenser mengubah getaran bunyi melalui perubahan kapasitansinya kedalam getaran listrik.

Mikropon kondenser dalam rangkaian AF



Gambar 4.11. Konstrusi mikropon kondenser (kiri) dan rangkaian mikropon kondenser dalam rangkaian AF (kanan)

Melalui tahanan depan tinggi (kira-kira 50MΩ) mikropon diberi tegangan searah pada sistem terdahulu sebesar 80-120V, tegangan 1,5-3V sudah bisa untuk mengoperasikan mikrophon kondenser..

Membran dalam keadaan tenang, tegangan pada mikropon sama dengan tegangan sumber. Arus tidak mengalir, sehingga pada tahanan depan tidak terdapat tegangan jatuh. Bila membran bergetar harga kapasitasnya berubah , saat perubahan kapasitas arus mengalir melalui tahanan, karena adanya pengisian dan pengosongan kapasitor.

Arahnya tergantung jika kapasitas membesar berarti pengisian, jika mengecil berarti pengosongan. Arus yang mengalir adalah arus bolak-balik yang seirama dengan tekanan bunyi. Besarnya kapasitansinya dapat dihitung dengan rumus seperti berikut :

$$C = \varepsilon_o \cdot \varepsilon_r \frac{A}{d}$$

A = Luas plat
d = Jarak plat
ε_0 = Konstanta dielektrikum = $8{,}85 \cdot 10^{-12} \frac{As}{Vm}$
ε_r = Permitivitas

Pada frkuensi rendah nilai tahanannya sangat besar, misalkan pada frekuensi 30Hz maka tahanan dalamnya (tahanan semu) sebesar :

$$X_c = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{2\pi \cdot 30\text{ Hz} \cdot 100\text{ pF}}$$

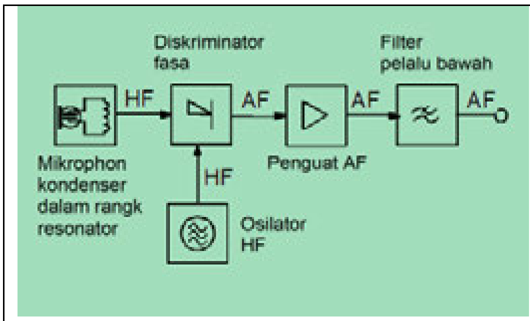
$$X_c = 53\ \text{M}\Omega$$

Mikropon kondenser mempunyai tahanan dalam yang tinggi sekitar 50 MΩ sehingga peka terhadap gangguan. Keburukan dari rangkaian frekuensi rendah yang ditunjukkan diatas adalah diperlukan tegangan DC yang konstan dan besar.

Rangkaian frekuensi tinggi, dimana mikropon disatukan dalam rangkaian osilator, tidak mempunyai keburukan diatas.

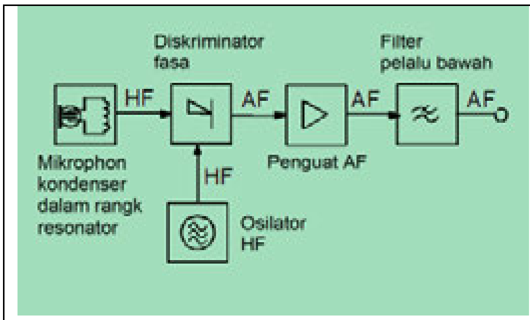
Mikropon kondenser dalam rangkaian frekuensi tinggi

Gambar 4.12 memperlihatkan rangkaian blok sebuah rangkaian frekuensi tinggi. Disini diperlukan perubahan kapasitansi dari mikropon kondenser, untuk mengubah frekuensi resonansi resonator dalam irama getaran suara. Sinyal frekuensi tinggi dimodulasi secara modulasi fasa.



Gambar 4.12. rangkaian blok rangkaian frekuensi tinggi

Didalam rangkaian demodulator FM yang dirangkaikan setelahnya akan diperoleh tegangan frekuensi rendah dari tegangan frekuensi tinggi yang termodulasi fasa, yang kemudian dikuatkan oleh penguat depan.



Gambar 4.12. rangkaian blok rangkaian frekuensi tinggi

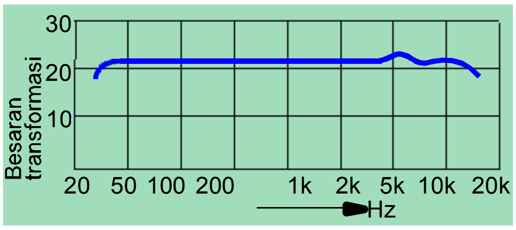
Didalam rangkaian demodulator FM yang dirangkaikan setelahnya akan diperoleh tegangan frekuensi rendah dari tegangan frekuensi tinggi yang termodulasi fasa, yang kemudian dikuatkan oleh penguat depan.



Gambar 4.13. Sebuah contoh mikropon kondenser jenis mikropon arah untuk studio tipe MKH 406 P 48 dari Sennheiser

Gambar 4.13. memperlihatkan contoh mikrphon kondenser dalam rangkaian frekuensi tinggi.

Mikropon ini memiliki tahanan dalam yang rendah, sehingga bisa digunakan dengan kabel yang panjang. Pada Gambar 4.14 memperlihatkan tanggapan frekuensi dari mikropon kondenser.



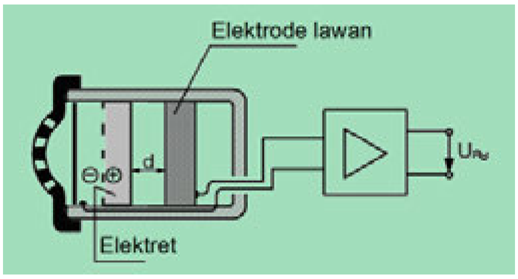
Gambar 4.14. Tanggapan frekuensi sebuah mikropon kondenser

Karena sifatnya yang baik maka mikropon kondenser banyak pula digunakan di studio dan juga untuk peralatan-peralatan kecil sebagai pengambil suara.

Data teknis :

Tahanan dalam	: 10 Ω sampai 250 Ω
Kepekaan	: 2 mV/µ bar Λ 20 mV/Pa pada 1000 Hz
Daerah frekuensi	: 20 Hz sampai 20.000
Dinamik	: 75 dB
Batas pengendalian	: 500 µ bar Λ 50 Pa

4.2.6. Mikropon Elektret



Mikropon elektret sama seperti mikropon kondenser hanya tanpa tegangan arus searah . Dan mempunyai sifat seperti mikropon kondensator. Elektret adalah seperti kapasitor yang terisi dengan muatan

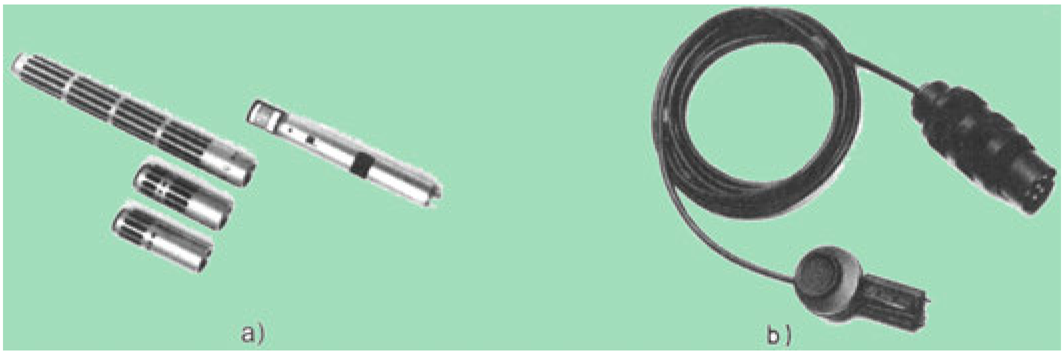
Gambar 4.15. Kunstruksi mikropon yang konstan.
elektret

Membran elektret dan elektrode lawan membentuk kondensator dengan jarak plat d dan muatan Q gelombang bunyi yang mengenai membran mengubah jarak d, sehingga kapasitansi Co berubah pula, sehingga timbullah tegangan yang bolak-balik yang sebanding dengan gerakan membran.

$$U = \frac{Q}{C}$$

U = tegangan yang dihasilkan
Q = muatan kapasitor
C = nilai kapasitansi

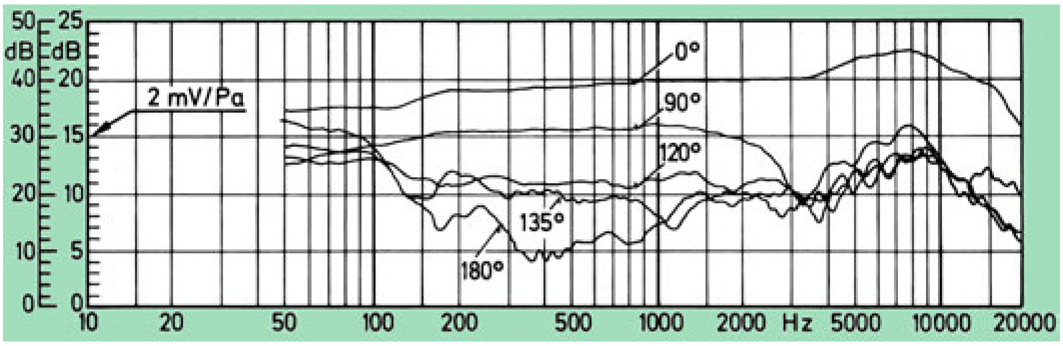
Tegangan ini diperkuat oleh penguat yang terpasang. Pada perkembangan berikutnya, elektret dan elektrode lawan dibalik, sehingga elektrode lawan berfungsi sebagai membran. Sehingga membran bisa dibuat lebih ringan.



Gambar 4.16. Contoh beberapa mikropon elektret

Gambar 16a memperlihatkan mikropon elektret dalam beberapa tipe, dari paling atas; Pegangan dan modul catu daya M 3N untuk mikropon; Mikropon terarah ME 80, untuk pengambilan suara yang lemah dan jauh; Modul mikropon ME 40 dengan karakteristik arah; Kepala mikropon ME 20 dengan karakteristik bola.

Sedang Gambar 16b, memperlihatkan mikropon elektret kerah mini, yang pengunaannya di klipkan pada kerah baju. Dan Gambar 4.17 memperlihatkan kurva karakteristik dari mikropon terarah ME 80 dengan modul K 3N.



Gambar 4.17. Kurva frekuensi mikropon terarah ME 80 dengan modul K 3N

Data teknis :

Impedansi listrik	: 15 kΩ
Impedansi penghubung	: 1,5 kΩ atau 600 Ω
Kepekaan	: 0,3 mV/μbar = 3 mV/Pa pada 1000 Hz
Daerah frekuensi	: 50 Hz sampai 15.000Hz
Penggunaan	: Pada kaset rekorder, karena tidak peka getaran badan.

TUGAS 1

Lakukan percobaan berikut ini

Alat :

Tindakan 1:

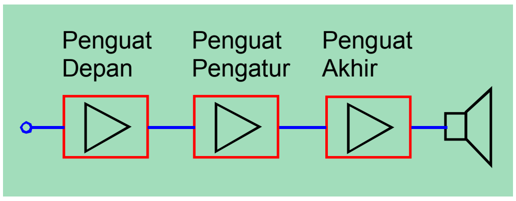
PERTANYAAN	S/B
1. Mikrophon berfungsi untuk mengubah bunyi menjadi tegangan listrik	b
2. Kepekaan sebuah mikropon adalah besar tegangan bolak-balik keluaran mikropon pada keadaan bunyi ber tekanan 1 µbar	b
3. Mikrophon selalu dapat menerima suara dari semua arah.	s
4. Mikrophon arang bekerja berdasarkan prinsip hukum induksi	s
5. Loudspeaker jika dioperasikan secara terbalik akan sama persis dengan mikrophon dinamik	b
6. Mikrophon pita banyak sekali digunakan pada peralatan dekte (*tape recorder* mini)	s

Rangkaian penguat depan audio (universal pre-amplifier) 5

KOMPETENSI INTI (KI-3)	KOMPETENSI INTI (KI-4)
Kompetensi Dasar (KD): **5. Merencana rangkaian penguat depan audio (*universal pre-amplifier*)**	**Kompetensi Dasar (KD):** **5. Mengukur rangkaian penguat depan audio (universal pre-amplifier)**
Indikator: 5.1 Arsitektur rangkaian penguat depan universal audio (universal pre-amplifier) 5.2 Merencana rangkaian penguat depan universal audio. 5.3 Mendimensikan komponen DC (statis) dan komponen AC (dinamis) penguat depan universal audio 5.4 Mendimensikan tanggapan frekuensi rangkaian penguat depan universal audio 5.5 Mendeskripsikan faktor cacat dan cakap silang (cross talk) penguat depan universal audio sistem stereo. 5.6 Mengerti kegunaan dan penerapan spesifikasi data teknis penguat depan universal pada sistem audio.	**Indikator:** 5.1. Menggambarskema rangkaian penguat depan universal audio (universal pre-amplifier) beserta daftar komponen dan nama komponen. 5.2. Mendesain, merakit papan rangkaian tercetak (PRT)penguat depan universal menggunakan perangkat lunak. 5.3. Melakukan pengukurantitik kerja DC (statis) dan AC (dinamis) penguat depan universal audio menggunakan perangkat lunak dan interprestasi data hasil pengukuran 5.4. Melakukan pengukuran tanggapan frekuensi rangkaian penguat depan universal menggunakan perangkat lunak dan interprestasi data hasil pengukuran 5.5. Melakukan pengukuran faktor cacat dan cakap silang (cross talk) penguat depan universal audio sistem stereo 5.6. Menyajikan spesifikasi data teknis penguat depan universal sistem audio

5.1. Arsitektur rangkaian penguat depan universal audio (universal pre-amplifier).

Secara rangkaian blok, sebuah system penguat suara dapat dilihat pada Gambar 5.1. Pada gambar tersebut memperlihatkan rangkaian blok mulai dari sumber sinyal, dapat berupa mikrophon, pemungut piringan hitam atau lainnya, hingga diakhiri loudspeaker.



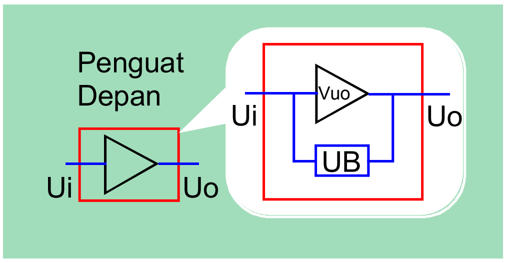
Gambar 5.1. Rangkaian Blok PenguatSuaralengkap

Penguat depan menguatkan sumber sinyal, selain memiliki penguatan tertentu, juga harus menyesuaikan sumber sinyal jika memiliki tanggapan frekuensi yang tidak linear.

Pada prinsipnya penguat depan memiliki fungsi untuk

- Menguatkan tegangan sumber sinyal
- Menggunakan level sinyal yang berbeda
- Mengkompensasi cacat linier
- Mencampur sumber sinyal yang berlaianan

Pada penguat depan yang disebut universal, memiliki artian penguat ini dapat digunakan untuk menguatkan sumber sinyal dengan tanggapan frekuensi datar (seperti mikrophon) dan yang tidak datar (seperti sinyal dari pemungut suara magnetik).Pada prinsipnya, arsitektur sebuah penguat terdiri penguat dengan penguatan terbuka (*open loop*) V_{uo} yang besar dan jaringan umpan balik negatif.



Gambar 5.2. Susunan penguat depan

Umpan balik (UB) negative dalam Gambar 5.2 adalah mengembalikan sebagian sinyal keluaran kemasukkan yang menyebabkan menurunnya penguatan. Penguat dengan harus memiliki penguatan terbuka yang besar.

5.1.1. Penguat Mikrophon

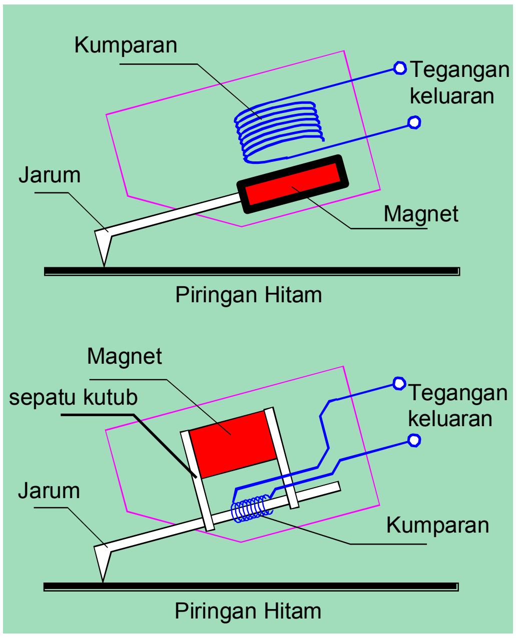
Mikrophon dinamik menghasilkan tegangan kira-kira hanya 0,5 mV pada tanggapan frekuensi yang datar. Disini penguat mempunyai tugas hanya

menaikkan level sinyal, karena tanggapan frekuensinya sudah datar. Pada rangkaian ini tidak dijumpai komponen yang mempengaruhi tanggapan frekuensi. Dengan begitu akan diperoleh daerah transfer dari 4Hz sampai 40kHz, Penguatan sedemikian besarnya sehingga diperoleh tegangan keluaran sebesar maksimum 1,4V.

Karena diperlukan penguatan yang konstan dalam daerah frekuensi, maka untuk penguat mikrophon, jaringan umpan balik pada Gambar 5.2 harus merupakan komponen yang tidak terpengaruh oleh frekuensi. Untuk ini dugunakan component ahanan, dimana besar resistansinya tidak berubah dengan berubahnya frekuensi sinyal.

5.1.2. Penguat Pemungut Suara.

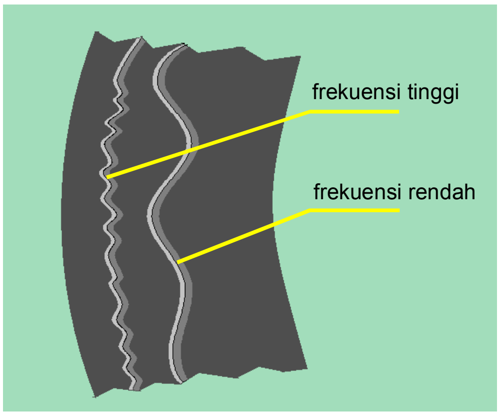
Pemungut suara magnetik, atau juga disebut *Pick Up* (PU) ada beberapa macam jenisnya, tergantung pengubah (*transducer*) yang digunakan. Yang banyak digunakan berdasar induksi, secara kunstruksi terdiri dari kumparan dan magnet serta jarum. Pemungut dengan magnet yang terhubung dengan jarum disebut dengan *moving magnet* (MM) dan kumparan yang terhubung jarum disebu tdengan *moving coil* (MC).



Gambar 5.3 Kunstruksi Pemungut Suara Magnetik tegangan induksi.

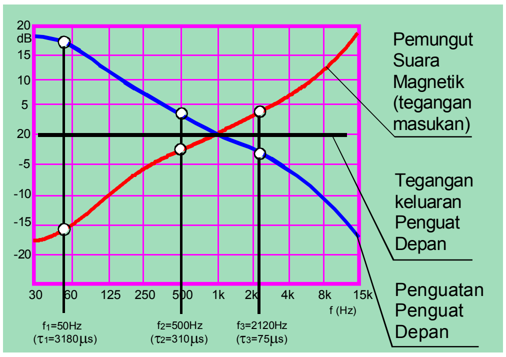
Gambar 5.3 memperlihatkan kunstruksi pemungut suara magnetik, MM (atas) dan MC (bawah). Secara prinsip, cara kerjanya berdasarkan hukuminduksi. Akan terbangkit tegangan induksi bila penghantar berada dalam medan magnet yang berubah. Artinya, bila jarum bergetar, maka magnet akan ikut bergetar (pada MM) dan akan terbangkit tegangan induksi. Pada MC, dengan bergetarnya jarum maka kumparan bergetar, sehingga medan magnet yang mengenainya akan berubah-ubah, maka akan timbul

Besar tegangan induksi yang terbangkit akan sebanding dengan frekuensi getaran jarum, getaran jarum tergantung pada frekuensi sinyal yang tercetak pada piringan hitam. Jadi tegangan keluaran pemungut suara magnetic akan naik dengan naiknya frekuensi suara. Selain itu, pada nada rendah (bass) memiliki tegangan yang besar (Gambar 5.4), sehingga ini akan menimbulkan alur yang besar pada piringan hitam, ini akan menghabiskan *space* pada piringan hitam, juga ketidakmampuan jarum untuk mengikuti alur tersebut. Maka pada sistim perekaman piringan hitam, frekuensi rendah juga ditekan. Secara internasional penekanan amplitude ini ditetapkan oleh RIAA (*Record Industry Association of America)* seperti diperlihatkan pada Gambar 5.5.



Gambar 5.4. Alur sinyal pada piringan hitam

Penguat depan pemungut suara magnetis menguatkan sinyal frekuensi rendah lebih besar dari pada sinyal frekuensi tinggi. Sehingga tegangan keluaran penguat depan menjadi datar. Penguat depan ini disebut penyama (*Equalizer Amplifier)*.

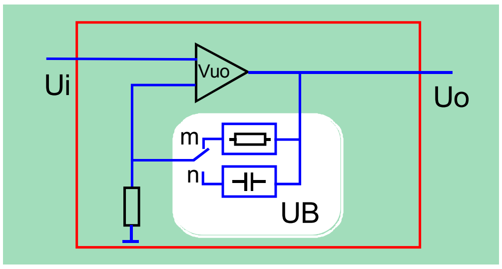


Gambar 5.5. Kurva standar RIAA dan penguatan penguat penyama

Untuk ini, penguat harus memiliki umpan balik negatif yang besarannya terpengaruh oleh frekuensi sinyal. Maka digunakan komponen kapasitor yang nilai reaktansinya (tahanan secara arus bolak-balik) berubah dengan berubahnya frekuensi sinyal.

5.1.3. Penguat Depan Universal.

Penguat depan universal yang kita bahas ini, merupakan sebuah penguat depan yang dapat sebagai penguat mikrophon dan dapat sebagai penguat penyama.



Gambar 5.6 Rangkaian blok penguat universal

Dengan mensaklarkan jaringan umpan balik dari “m” ke “n”, maka tanggapan frekuensi dari penguat depan ini akan berubah, dari linear ketidak linear. Atau dengan kata lain dari penguat depan mikrophon menjadi penguat depan pemungut suara magnetik.

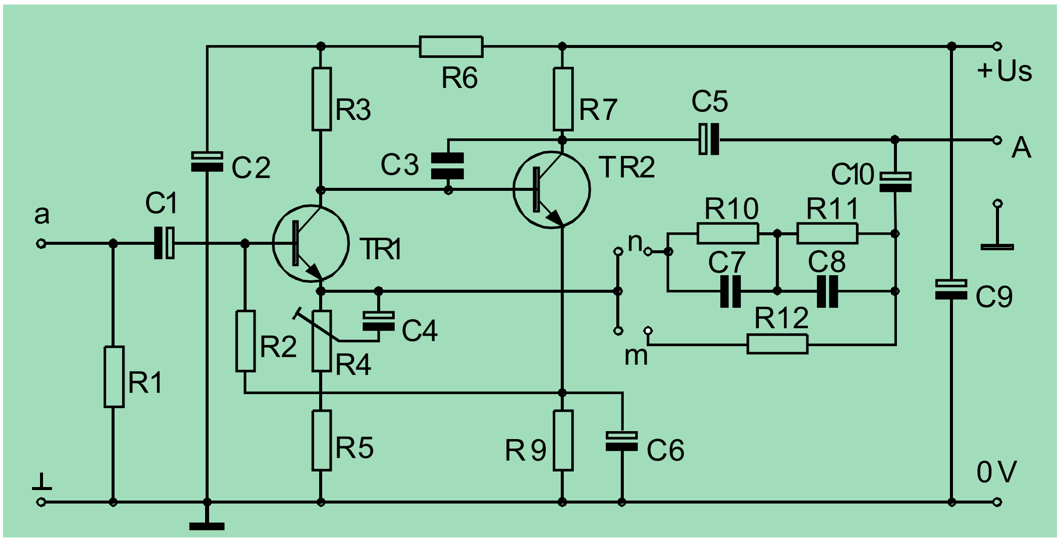
5.2. Merencana rangkaian penguat depan universal audio.

Penguat depan yang dapat menguatkan tegangan 1mVef – 20mVef menjadi 1-1,4Vef dapat dibangun dengan satu atau dua buah transistor. Pada bahasan berikut dipilih penguat depan universal dua tingkat yang hubung secara DC (arus searah).

5.2.1. Mendimensikan komponen DC.

Rangkaian Arus Searah

Gambar skema rangkaian penguat depan universal yang akan dibahas diperlihatkan pada Gambar 5.6. rangkaian terdiri dari 2 tingkat yang dibangun oleh transistor TR1 dan TR2. Antara keluaran penguat pertama dan kedua disambung secara DC. Umpan balik negatif yang menentukan tanggapan frekuensi, dari keluaran dihubungkan ke daerah masukan dengan penghubung “m” dan “n”, yang bisa dipilih sesuai yang diinginkan.



Gambar 5.7. Gambar skema lengkap penguat depan universal.

Rangkaian penguat depan universal yang dibahas seperti terlihat pada gambar 5.7 dengan daftar komponen seperti berikut ini :

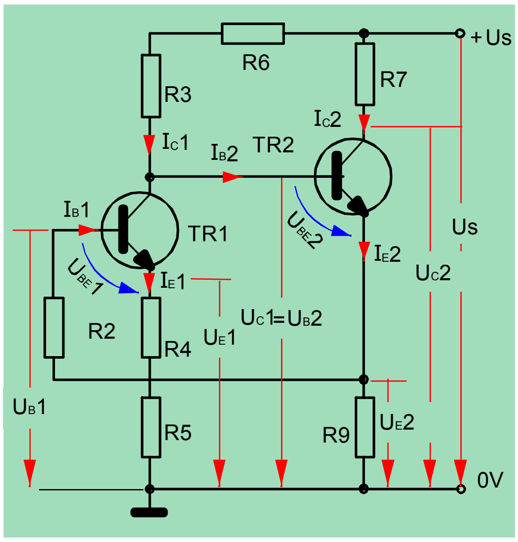
Daftar komponen :

Tahanan	
R1	68kΩ
R2	220kΩ
R3	120 kΩ
R4	VR 5 kΩ
R5	220 kΩ
R6	4,7 kΩ
R7	4,7 kΩ
R9	1 kΩ
R10	330 kΩ
R11	15 kΩ
R12	15 kΩ

Kapasitor	
C1	10 µF
C2	100µF
C3	33pF
C4	220µF
C5	10µF
C6	220µF
C7	15000pF
C8	4700 pF
C9	100µF
C10	10µF

Transistor	
TR1	BC 549B
TR2	BC 549B

Rangkaian arus searah sebuah penguat audio terlihat sangat sederhana, karena semua komponen yang berpengaruh pada frekuensi sinyal audio dapat ditiadakan. Jadi semua kapasitor dapat ditiadakan. Setelah proses pensaklaran berlalu, maka yang tertinggal adalah keadaan statis. Keadaan statis ini membangun titik kerja. Dalam keadaan ini semua kapasitor mempunyai potensial konstan, karena terisi penuh.



Gambar 5.8. Rangkaian arus searah

Sebuah kapasitor terisi untuk arus searah seakan terputus, tidak ada arus searah yang mengalir. Akibatnya, kapasitor tidak berpengaruh lagi pada rangkaian arus searah. Untuk penyederhanaan, dalam kondisi ini, semua kapasitor dihapus, sehingga rangkaian secara arus searah dapat dilihat pada Gambar 5.8. Untuk pembahasan selanjutnya, yang dimaksud dengan U_{CE} tegangan antara kaki kolektor dan emitor sebuah transistor, jika $U_{CE}2$ artinya tegangan antara kaki kolektor dan emitor untuk transistor 2. Jika ditulis U_C1 berarti tegangan kolektor transistor 1 diukur terhadap 0V (massa). Untuk I_C2, berarti arus kolektor transistor 2, demikian seterusnya.

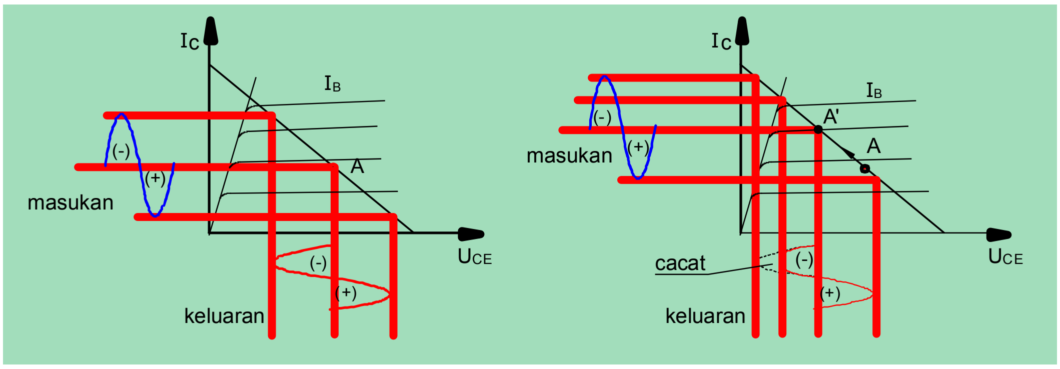
Titik Kerja

Tugas rangkaian arus searah adalah :

- Menetapkan titik kerja.
- Untuk menghindari penggeseran titik kerja yang disebabkan pengaruh temperatur.Perubahan temperatur yang diakibatkan misal oleh temperatur sekeliling atau melalui perubahan daya rugi dari transistor. Perubahan temperatur mengakibatkan perubahan:
  - Arus basis I_B jika U_{CE} konstan (faktor 2 tiap kenaikan 100 K).
  - Tegangan basis U_{BE} jika I_{BE} konstan (-2mV/0K pada kenaikan temperatur).
  - Penguatan arus (bertambah sekitar 1%/ºK pada kenaikan temperatur
  - Arus halang I_{CB} (faktor 2 tiap kenaikan 10ºK).

Semua perubahan di atas akan mengarah pada perubahan arus kolektor Ic.

Transistor-transistor TR1, TR2 disambung secara tegangan searah (DC). Secara teknis jika dibandingkan dengan penggandeng kapasitor mempunyai kelebihan terutama pada penampilan tegangan bolak-balik (sinyal) .Frekuensi batas bawah terletak pada DC (0Hz). Keburukan pada frekuensi batas DC terletak pada penstabilan titik kerja. Setiap penggeseran tegangan DC dari TR1 dipindahkan ke TR2 (tegangan pada TR2 juga akan ikut bergeser).Maka dari itu titik kerja dari penguat tergandeng langsung (penguat DC) harus distabilkan dengan baik.



Gambar 5.9. Akibat titik kerja bergeser

<u>*Titik kerja tepat*</u> *(Gambar 5.9 kiri)* Sinyal dapat dikendalikan penuh baik amplitudo positif maupun negatif	<u>*Titik kerja tidak stabil*</u> *(Gambar 5.9 kanan)* (bergeser dari A ke A'). Sinyal hanya dapat dikendalikan penuh pada amplitudo positif. Pada amplitudo negatif U_{CE} mencapai tegangan jenuh Akibatnya : sinyal keluaran cacat

Tujuan penetapan titik kerja adalah, untuk membangkitkan arus kolektor I_C sekaligus juga menetapkan tegangan kolektor (U_{CE}) yang konstan dan tidak bergantung temperatur.

Dalam rangkaian yang dibahas, bekerja dua upaya penstabilan atas perubahan Ic yang disebabkan oleh perubahan temperatur.

- Umpan balik negatif arus dengan R9 pada emitor TR2.
- Penggandengan basis TR1 melalui R2 ke emitor TR2 bekerja sebagai umpan balik negatif tegangan.

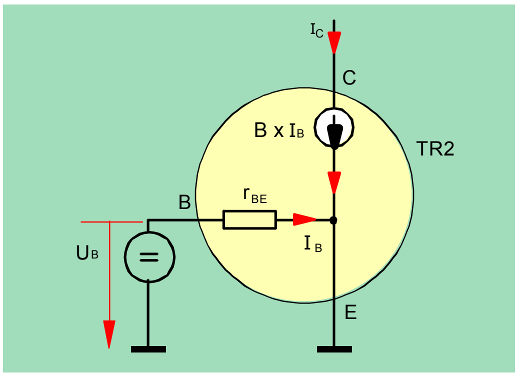
c. Penstabilan titik kerja dengan umpan balik negatif arus melalui tahanan emitor

Misal 1 : - Titik kerja TR1 tidak tergantung TR2. Jadi tanpa R2.

- $I_C1 >> I_B2$

- R9 = 0

Jika $I_C1 >> I_B2$, tegangan basis atau tegangan kolektor U_C1 hampir konstan, maksudnya tidak tergantung I_B2. Emitor terhubung langsung ke tanah, tanpa R9 Tahanan basis emitor TR2 dinamakan r_{be} dan tergantung temperatur, dengan demikian I_B tergantung temperatur. Maka diperoleh skema pengganti seperti berikut :

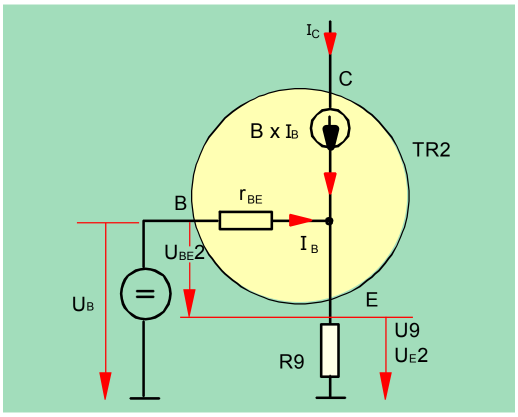


Gambar 5.9. Rangkaian pengganti transistor tanpa R_E

$$I_B = \frac{U_B}{r_{BE}}$$

Dari rumus tersebut, I_B tergantung dengan r_{be} dan r_{be} sangat bergantung temperatur. Agar supaya I_B tidak atau sedikit bergantung temperatur, faktor r_{be} harus mempunyai pengaruh sesedikit mungkin.

Misal 2 :Seperti permisalan 1, hanya ditambahkan tahanan R9 pada emitor transistor TR2.



Gambar 5.10. Rangkaian pengganti transistor dengan R_E.

$U9 = I_B. R9 + I_B . B. R9.$

$U9 = I_B. R9 (1 + B)$, karena B >> 1.

$U9 \cong I_B. R9. B$ diperoleh :

$$I_B \cong \frac{U_B - I_B \cdot R9 \cdot B}{r_{BE}}$$

$I_B \times r_{be} \cong U_B - I_B \cdot R9 \cdot B$

$I_B \cdot r_{be} + I_B \cdot R9 \cdot B \cong U_B$

$I_B \cdot (r_{be} + B \times R9) \cong U_B$

$$I_B \cong \frac{U_B}{r_{BE} + BxR9}$$

karena $B \cdot R9 >> r_{BE}$ maka :

$$I_B \cong \frac{U_B}{B \cdot R9}$$

Dengan pemasangan tahanan R9, maka arus I_B praktis tidak lagi bergantung temperatur. Faktor pengganggu terbesar r_{be} hampir tidak lagi berpengaruh pada arus basis I_B (r_{be} tidak lagi terdapat dalam rumus). Untuk lajur basis-emitor R9 bekerja secara pengalian dengan penguatan arus, R basis emitor = B·R9. Dengan ini r_{be} dalam perbandingan sangat kecil, sehingga dapat diabaikan. Tahanan pada kaki emitor ini secara prinsip akan menyebabkan efek umpan balik, dank arena sifatnya mengurangkan maka tahanan pada kaki emitor disebut sebaga tahanan umpan balik negatif arus.

Penstabilan dengan tahanan di emitor dapat pula dijelaskan sebagai berikut:

Jika oleh sebab panas maka tahanan r_{BE} berubah mengecil maka arus yang melewatinya (I_B) membesar maka arus kolektorpun (I_C) akan naik maka tegangan emitor (U_E) akan naik karena (U_E=I_C X R9). Jika U_E naik maka U_{BE} akan mengecil (U_{BE} = U_B - U_E □U_B dianggap konstan dalam kasus ini) mengakibatkan arus basis mengecil yang kemudian akan mengakibatkan arus kolektor mengecil.

Temperatur □ I_B □ I_C □, U_E □ U_{BE} □ I_B □ I_C □

Dalam praktek U9 dipilih sekitar 1····2Volt (U9 > U_{BE}1) sehingga R9 besarnya sekitar 0,1····1k□ untuk memperoleh kestabilan yang baik. Permisalan dan pemikiran di atas berlaku juga untuk TR1. Tahanan R4 + R5 disana juga secara positif menyelesaikan penstabilan. Tetapi tegangan jatuh pada R4 + R5 terlampau kecil (U_E1<U_{BE}1) untuk mendapatkan stabilisasi yang cukup.

d. Penstabilan titik kerja melalui umpan balik negatif melalui R2.

Upaya Penstabilan kedua yang sangat efektip dicapai melalui umpan balik negatif tegangan TR2 Emitor - R2 - Basis TR1. Tegangan bias TR1 ditimbulkan melalui tegangan jatuh pada R9 (U9).

Cara kerja dibahas secara kualitatip :

TR1 :

Temperatur $\Uparrow$ **I_B1** $\Uparrow$ [1)] U_C1, U_B2 $\Downarrow$ I_B2 $\Downarrow$ I_C2 $\Downarrow$ U9 $\Downarrow$ **I_B1** $\Downarrow$ [2)]

Kenaikan I_B1 [1)] yang diakibatkan kenaikan temperatur, melalui lingkaran pengatur berakibat suatu penurunan I_B1 [2).] TR2 :

Temperatur ⇓ I_B2 ⇓ [3] I_C2 ⇓ U9 ⇓ I_B1 ⇓ I_C1 ⇓ U_C1, U_B2 ⇑ I_B2 ⇑ [4]

Penurunan I_B2 [3] yang disebabkan oleh temperatur turun, melalui lingkaran pengatur berakibat suatu penaikan I_B2 [4].

Proses stabilisasi ini terjadi terus menerus sehingga diperoleh *arus kolektor yang tidak lagi tergantung temperatur* dan dengan demikian dicapai pula *titik kerja yang stabil*.

Perhitungan tegangan DC dan arus DC

Perhitungan dibentuk sedemikian rupa, dengan penaksiran perbandingan tegangan dan arus setepat mungkin. Dalam hubungan dengan praktisnya perhitungan/penaksiran besaran ini menggambarkan kemampuan fungsi sebuah rangkaian. Harga perhitungan/penaksiran dan harga terukur nantinya dapat dibandingkan dan diinterprestasi.

Permisalan :

-Semua harga komponen sesuai dengan gambar rangkaian dan semua benar.

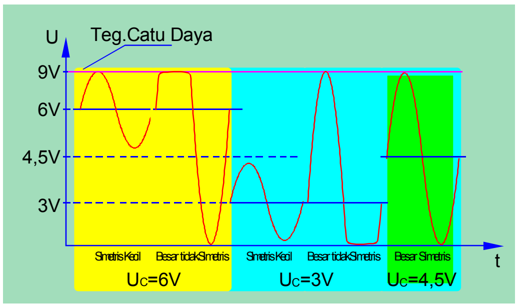
-Rangkaian berfungsi dengan benar.

-Penyederhanaan : $I_E = I_C$. karena I_B sangat kecil dibanding I_C

-Data TR1, TR2 :(BC 549) Digambarkan dalam grafik,bahwa besarnya tegangan basis-emitor (U_{BE}) besarnya penguatan (B) sangat tergantung dari penetapan arus kolektor (I_C).

1). U_C2 : Agar dihasilkan pengendalian yang simetris, U_C2, dimana pada titik ini diambil sinyal keluaran, besarnya kira-kira harus terletak di tengah-tengah harga tegangan catu. Dengan demikian :

$$Uc2 = \frac{Us}{2} = \frac{9V}{2} = 4{,}5V$$



Gambar 5.11. pengaruh penetapan tegangan kolektor U_C terhadap tegangan sinyal yang dihasilkan

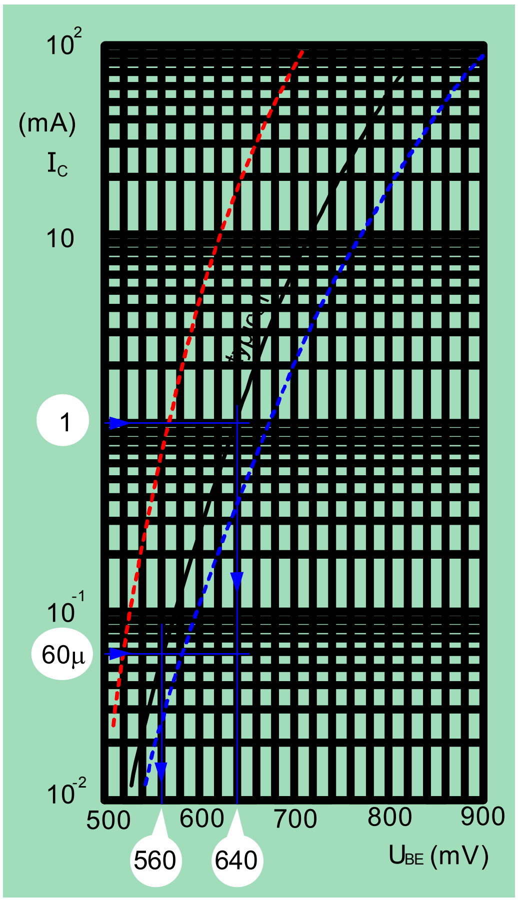
Jika tegangan kolektor transistor terakhir ditetapkan 6V maka tegangan sinyanya sisi positif akan terbatasi oleh tegangan maksimum catu daya. Jika ditetapkan 3V bagian negatif sinyal akan dibatasi oleh 0V. pada penetapan U_C=4,5V (setengah tegangan catu, maka akan diperoleh tegangan sinyal yang besar dan simetris.

2) $I_C2 = \frac{U7}{R7} = \frac{U_S - U_C2}{R7} = \frac{4,5V}{4,7k\Omega} = 0,96mA$

3).U9(U_E2) = I_C2. R9 = 0,96 mA. 1k□ = 960 mV

U9 harus sedikitnya 1V dan tentu lebih besar dari pada U_{BE}1 = 0,6 V.

4).U_C1 = U_B2 = U9+U_{BE}2= 960mV+640mV = 1,60V □□Tegangan basis-emitor U_{BE}1=640mV (Ic=1mA)



Gambar 5.12. Grafik tegangan basis-emitor (U_{BE}) fungsi arus kolektor (I_C) (Philips Data handbook, Semiconductor Part 3 Nov 1982)

Tegangan basis-emitor U_{BE} sebuah transistor tergantung pada arus kolektor I_C. jika arus kolektor I_C ditetapkan 1mA, maka pada arus 1mA dalam grafik Gambar 5.12 ditarik garis kekanan dan berpotong pada grafik (pilih yang typical) lalu ditarik ke bawah. Maka ditemukanlah besarnya tegangan U_{BE}, dalam hal ini ditemukan U_{BE} sebesar 640mV untuk transistor TR2. Sedang untuk kondisi transistor TR1 dengan I_C=60μA maka diperoleh U_{BE}=560mV.

5). $I_C1 = \frac{U_S - U_C1}{R3 + R6} = \frac{9V - 1{,}6V}{120k\Omega + 4{,}7k\Omega} = 59\mu A$

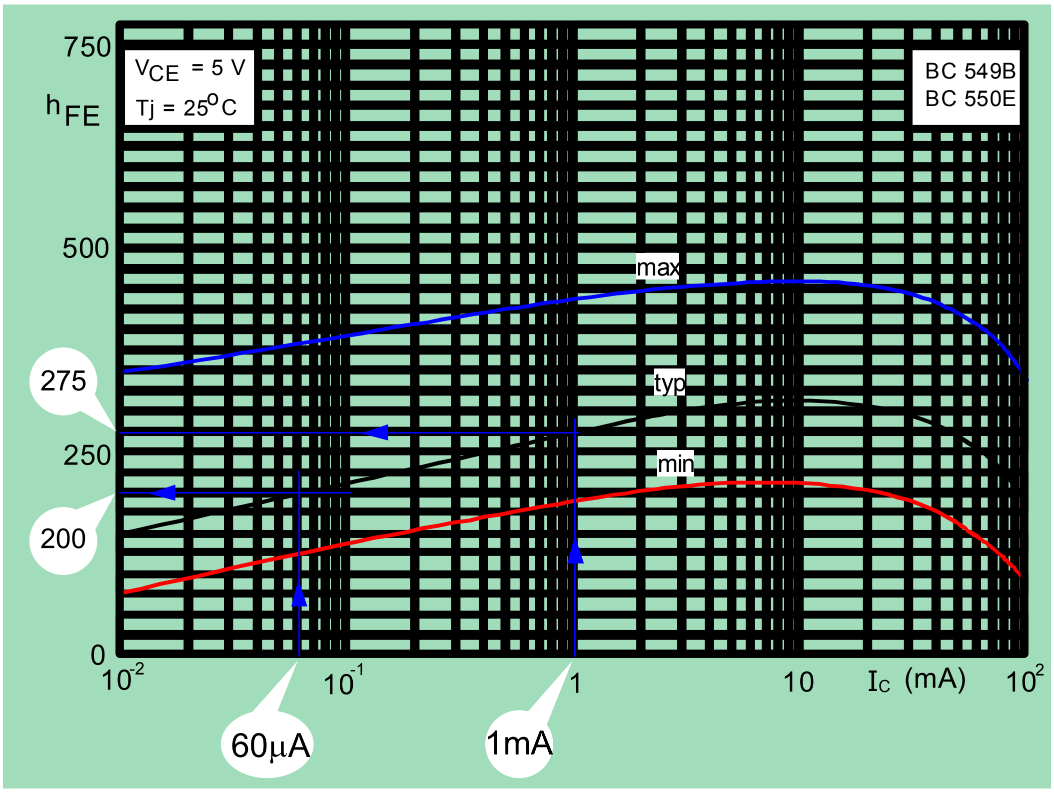
6).$U_E1 = I_C1$. (R4 + R5) = 59μA. 5,22 kΩ = 308 mV.

7).U_B1 = U_E1+ $U_{BE}1$=308mV + 560mV = 868 mV. Tegangan basis-emitor $U_{BE}1$=560mV (Ic=60μA)

U_B1 harus lebih kecil dari U9 agar arus basis dapat mengalir. Dengan sangat kecilnya arus basis I_B1 dan sangat lebih kecil dari I_C2, maka hanya terdapat tegangan jatuh yang kecil pada R2.

8) $I_B1 = \frac{U9 - U_B1}{R2} = \frac{960mV - 868mV}{220k\Omega} = 0{,}41\mu A$

9) $I_B2 = \frac{I_C2}{B2} = \frac{0{,}96mV}{275} = 3{,}5\mu A$



Gambar 5.13. Penguatan (h_{FE}) fungsi arus kolektor (I_C)
(Philips Data handbook, Semiconductor Part 3 Nov 1982)

Dari Gambar 5.13. dapat dibaca penguatan arus B (untuk arus searah) atau h_{FE}, untuk transistor TR2 sebesar 275 karena I_C=0.96mA. Untuk transistor TR1 penguatannya sebesar 200 karena I_C=60µA

Dengan menggunaan lembar data dan tanpa teori yang rumit memungkinkan perhitungan tegangan dan arus dengan ketepatan yang cukup. Perhitungan tidak harus persis seperti langkah-langkah yang dibicarakan di atas. Untuk diperhatikan, bahwa seharusnya dilakukan permisalan sedikit mungkin, untuk mendapatkan ketepatan hasil yang masih dapat diterima.

TUGAS 1

a. Buatlah papan rangkaian tercetak PRT/PCB (*Printed Circuit Board*) untuk penguat dengan gambar rangkaian yang ditampilkan pada gambar 5.7. PRT

bisa cara langsung dengan spidol atau dengan cara sablon dengan penggambaran menggunakan perangkat lunak.

b. Setelah PRT selesai solderlah hanya resistor dan transistornya saja.

c. Berilah tegangan catu sebesar 9Volt dan lakukan pengukuran pada kaki-kaki transistor, lengkapi tabel pengukuran.

No	Titik ukur	Nilai tegangan secara teori	Hasil Pengukuran	Selisih (%)
1	U_C2			
2	U_E2			
3	U_B2			
4	U_C1			
5	U_E1			
6	U_B1			
Semua pengukuran diukur terhadap 0V (massa)				

Kesimpulan : ....

....

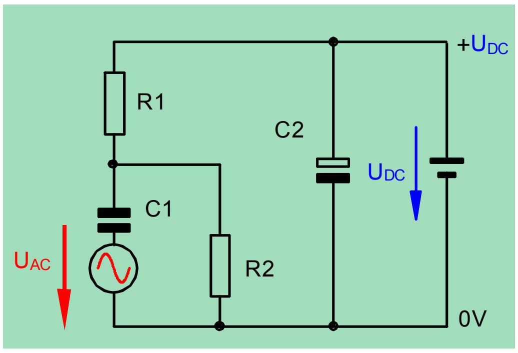
....

PERTANYAAN	S/B
1. Fungsi tahanan pada kolektor pada transistor terakhir adalah menetapkan besarnya tegangan kolektor.	
2. Perubahan yang disebabkan oleh perubahan temperatur antara lain arus kolektor turun.	
3. Jika titik kerja transistor bergeser dapat menyebabkan sinyal yang dikuatkan menjadi terpotong atau cacat.	
4. Tujuan penetapkan titik kerja titik kerja adalah membangkitkan arus kolektor yang konstan dan tidak tergantung pada temperatur	
5. Upaya menstabilkan titik kerja dari gangguan perubahan temperatur dengan memasang tahanan pada basis.	

5.2.2. Mendimensikan komponen AC.

Aliran Sinyal pada AC

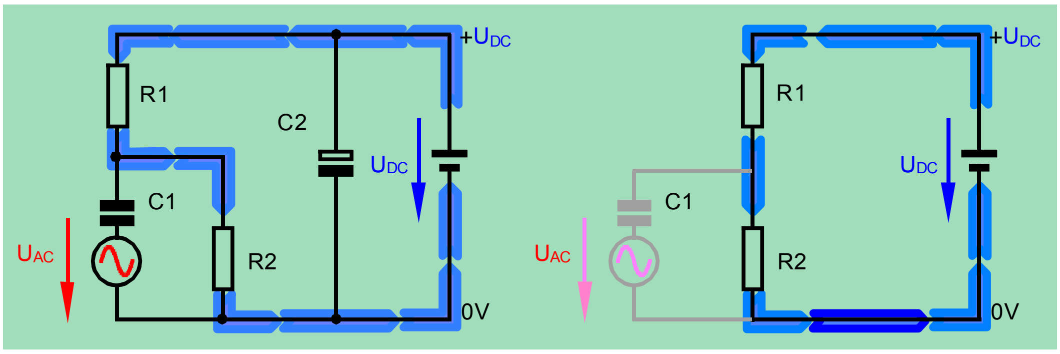
Dalam sebuah rangkaian penguat audio jalannya aliran sinyal untuk AC dan DC tidak sama. Sumber tegangan DC untuk sinyal AC membentuk sebuah hubung singkat. Tahanan dalam sumber tegangan idealnya sama dengan 0Ω ! Dengan demikian elemen-elemen yang terletak antara potensial positif dan negatif untuk sinyal AC terletak paralel.



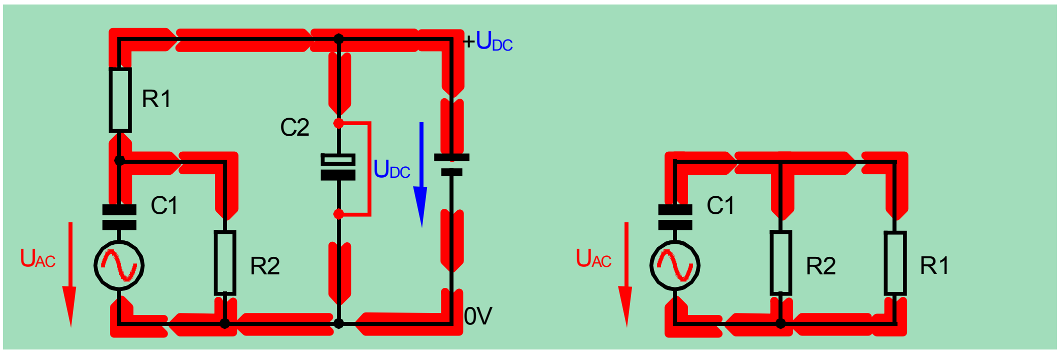
Gambar 5.14. Rangkaian 2 tahanan dalam arus searah dan bolak balik

Untuk I_{DC}, R1 dan R2 terhubung seri. Sehingga Rt= R1 + R2.

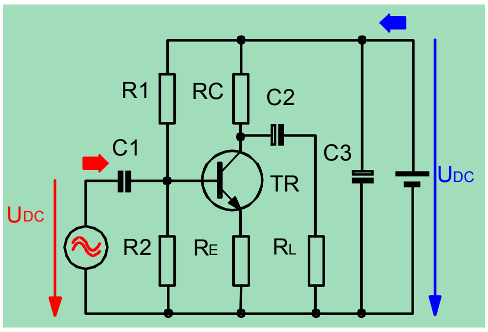
Untuk i_{AC}, R1 dan R2 terhubung paralel. Sehingga Rt = R1 // R2.



Gambar 5.15. Rangkaian tahanan pada tegangan DC



Gambar 5.16. Rangkaian tahanan pada tegangan AC.

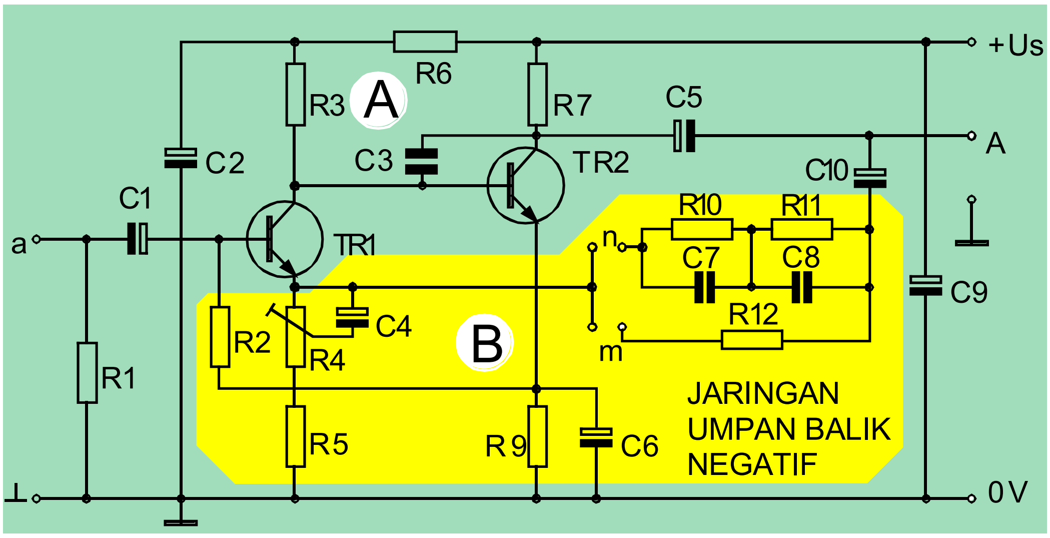
 Gambar 5.17. Arus AC dan DC pada rangkaian penguat transistor	Masukan Untuk U_{AC} pembagi tegangan R1,R2 terletak paralel sehingga : R_{tB}=R1//R2. Keluaran Untuk sinyal AC R_L terletak paralel ke R_C. dengan demikian R_{tC} dikolektor untuk sinyal AC : $R_{tC}=R_C//R_L$.

Pemilahan jaringan penguat, jaringan umpan balik negatif.

Rangkaian dalam gambar 5.7 dapat dipilah dalam :

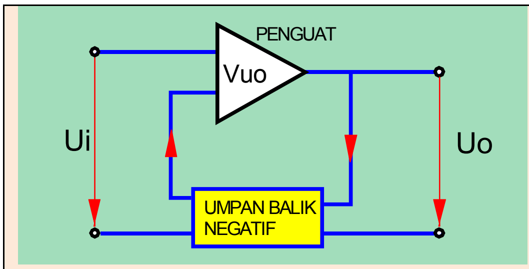
A : Jaringan penguat.

B : Jaringan umpan balik negatif



Gambar 5.18 Pemilahan antara jaringan umpan balik negatif dan penguat

Umpan balik negatif adalah mengembalikan sebagaian dari sinyal keluaran ke masukan, akan mempengaruhi penampilan keseluruhan rangkaian.



Gambar 5.19. Rangkaian blok penguat

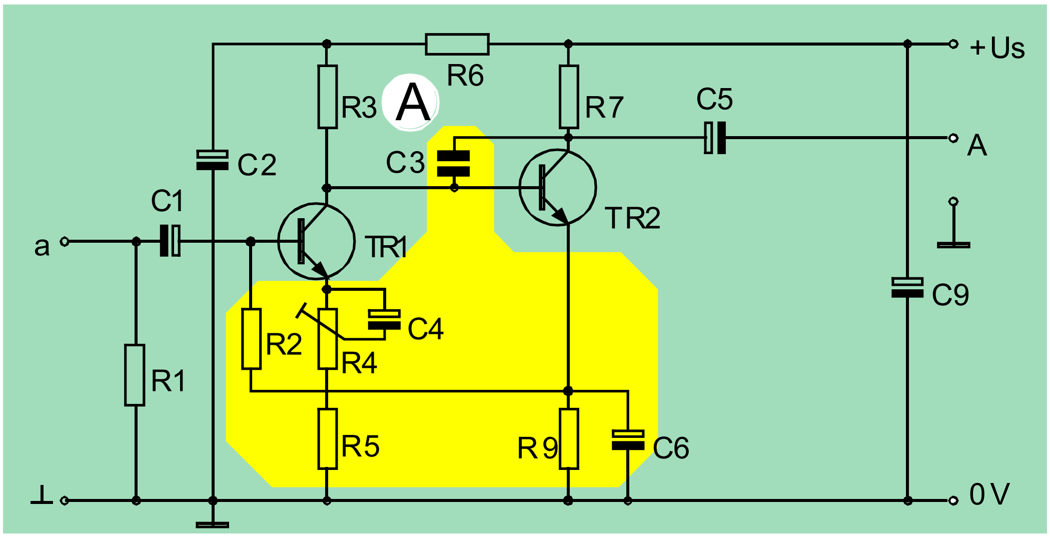
Yang dipengaruhi :

a) Penguatan V_U (penguatan tegangan), V_i (penguatan arus).
b) Lebar band.
c) Tahanan masukan r_e.
d) Tahanan keluaran r_A.
e) Faktor cacat.

Jaringan penguat dengan umpan balik "dalam".

Dalam bahasan berikut rangkaian penguat dalam gambar 5.7 dianalisa dan penampilannya dihitung secara kualitatif. Dalam bahasan sebelumnya telah dihitung dan diterangkan berakibat apa tahanan-tahanan emitor R9, R4, R5. Semua it$_U$ mengakibatkan penstabilan *arus kolektor* supaya titik kerja tidak bergeser. Dimana yang disebut umpan balik negatif arus, yang mana tegangan umpan balik U9(U_E2),U4,5 (U_E1) sebanding dengan arus I_E1, I_E2. Umpan balik negatif ini bekerja atas *setiap perubahan* sinyal. Bila kita letakkan tegangan sinyal pada masukan a, menyimpanglah arus basis dalam irama sinyal masukan. Umpan balik negatif akan menstabilkan "penyimpangan" ini , dengan demikian

sinyal dari masukan tidak dikuatkan. Padahal penguatan sinyal diperlukan. Maka umpan balik negatif untuk tegangan sinyal harus *diperkecil*.



Gambar 5.20 Penguat hanya dengan umpan balik negatif “dalam”

Dalam rangkaian yang dibahas, umpan balik negatif melalui R9 untuk tegangan sinyal akan diperkecil dengan cara R9 dihubung singkat dengan C6, dengan demikian arus bolak-balik sinyal *tidak membangkitkan tegangan AC umpan balik* melalui R9. Kapasitor C6 membuat suatu hubung singkat untuk sinyal AC. Dengan kata lain C6 berfungsi sebagai peniada umpan balik untuk sinyal AC.

Sedang R4 (trimpot) untuk sinyal AC akan dihubung singkat tergantung posisinya. Umpan balik negatif maksimum bila penggeser trimpot berada paling atas, sehingga tahanan yang berada di emitor sebesar 5,220 kΩ. Tahanan atur R4 digunakan untuk mengatur besarnya umpan balik negatif, tetapi hal ini *hanya berlaku untuk sinyal AC*.

Untuk DC semua kapasitor membentuk rangkaian terputus atau $X_C=\infty$, sehingga pada tahanan atur R4 besarnya tidak akan berubah walau penggeser tahanan atur diubah-ubah. Dengan demikian R4 bertugas untuk pengatur penguatan sinyal.

Rangkaian R6, C2 bertugas untuk menyaring (mem-*filter*) tegangan catu TR1, karena tingkat penguat keseluruhan mempunyai penguatan yang besar. Jika tidak disaring (di*filter*),tegangan dengung akan sangat terdengar di keluarkan A. Kapasitor C1, C5 adalah kapasitor penggandeng dan bertugas untuk

memisahkan tegangan DC. Tahanan R1 mempunyai pengaruh paling besar dalam menentukan besarnya tahanan masukan rangkaian. Kapasitor C3 adalah umpan balik negatif yang lain dan bekerja pada frekuensi tinggi.Sinyal frekuensi tinggi akan dikembalikan ke basis TR2,maka penguatanpun menurun. Kapasitor C3 bekerja pada frekuensi di atas 20 kHz. Kapasitansi seluruhnya C3' = β x C3, jadi dengan penguatan arus yang lebih besar nilai C3' akan sangat besar.

Perhitungan penguatan V_{UO} dengan tahanan emitor R9,R4, R5.

Rangkaian yang dimaksud seperti gambar 5.20, rangkaian tanpa jaringan umpan balik C7,C8,R10,R11 dan R12. Besar perbandingan tegangan keluaran dengan tegangan masukan, V_U karena ini tanpa umpan balik tersebut, maka perbandingan ini disebut pula penguatan terbuka atau "*open loop*" atau penguatan tanpa umpan balik, dengan notasi V_{UO}. Besarnya :

$$V_{UO} = \frac{U_A}{U_i}$$

Dari rumus umum tersebut, untuk penguat emitor bersama diperoleh hitungan penguatan sebagai berikut :

$$V_{UO} = \frac{\beta \times R_t}{r_{be} + (\beta + 1) R_E'}$$

□ = Penguatan arus untuk AC □ B

R_t = Tahanan di kolektor untuk AC.

r_{be} = Tahanan basis-emitor

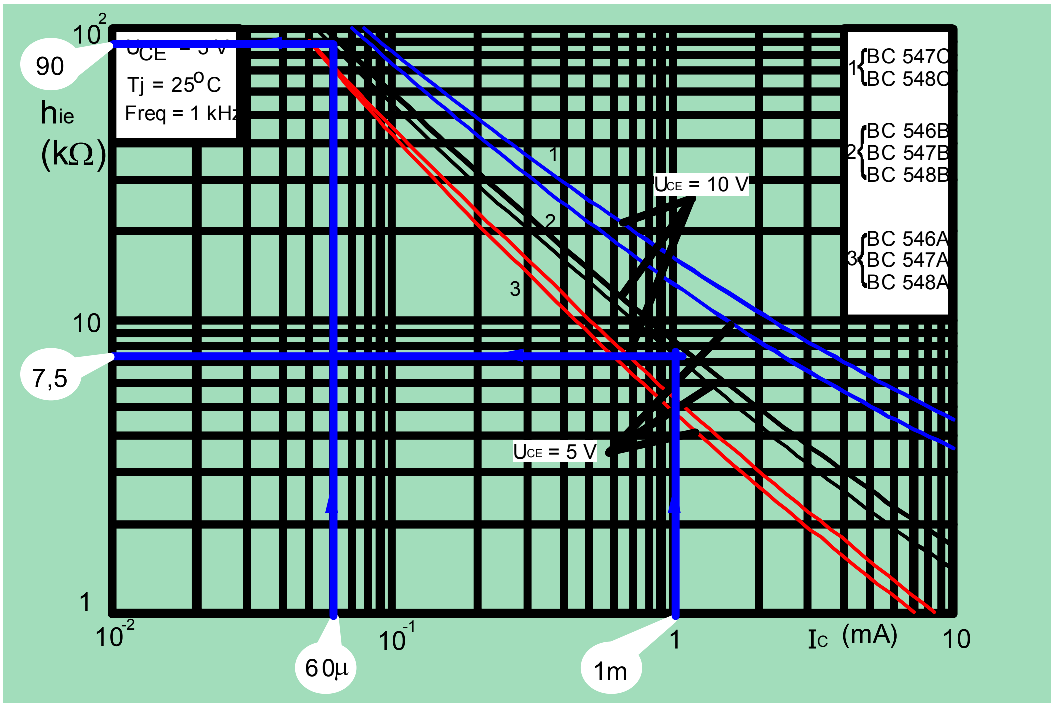
R_E' = Tahanan umpan balik negatif di emitor.

Jika r_{be} << □ x R_E' dan □ >> 1.

$$|V_U| \cong \frac{R_t}{R_E'}$$

Untuk TR1 terdapat keadaan sebagai berikut :

Paralel dengan R3 terletak tahanan $r_{be}2$ dari transistor TR2. $r_{be}2$ berharga sekitar 7,5 k□ untuk Ic2 = 1 mA dan f =1kHz (dari lembar data).



Gambar 5.21. Impedansi masukan (h_{ie}) fungsi arus kolektor (I_C)
(Philips Data handbook, Semiconductor Part 3 Nov 1982)

Sehingga :

- Rt = R3 // rbe2 = 120 k□// 7,5 k □ 7 kΩ ⇒ // = paralel
- □□□ 220 untuk I_C1 = 50 □A dan f = 1 kHz(dari lembar data)
- R_E' = R5 sampai (R4 + R5) sesuai posisi trimpot R4.
- $r_{be}1$ = 90 k□ untuk I_C1 = 50 □A dan f = 1 kHz (dari lembar data).

Untuk V_U maks untuk TR1 rumus sederhana tidak boleh digunakan,karena

$r_{be}1$ >> □ x R_E'

sehingga :

$$\left|V_U maks(TR1)\right| = \frac{220x7,5k\Omega}{90k\Omega + (220+1)x220} = 11.9 kali$$

Untuk V_U min $r_{be}1$ << □ x R_E' sehingga rumus yang disederhanakan dapat digunakan.

$$\left|V_U min(TR1\right| = \frac{7,5k\Omega}{5,22k\Omega} \cong 1,4 kali$$

TR2 tanpa umpan balik negatif, karena R9 dihubung singkat oleh C6 untuk AC. Di kaki kolektor ditemui hanya R7, karena tidak terdapat tahanan beban yang dihubungkan.

- R_t = R7 = 4,7k□

- □ □ 275 untuk I_C2 = 1 mA dan f = 1 kHz (data Gambar 5.13).

- $r_{be}2$ = 7k□ untuk I_C2 = 1mA dan f = 1 kHz (data).

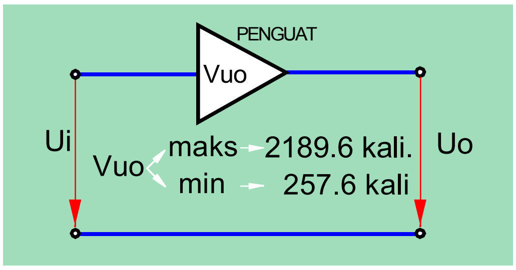
maka :

$$V_U = \frac{275 \times 4{,}7k\Omega}{7k\Omega} = 184 kali$$

Untuk penguatan keseluruhan terdapat penguatan :

V_{UO} maks = V_U maks (TR1) x V_U (TR2) = 11.9 x 184 = 2189.6 kali.
V_{UO} min = V_U min (TR1) x V_U (TR2) = 1.4 x 184 = 257.6 kali.

Hasil dari perhitungan sangat tergantung dari data transistor! □ dapat menyimpang hingga □ 50 % dari harga (menyebar).



Gambar 5.22. Penguat dengan penguatan V_{UO}.

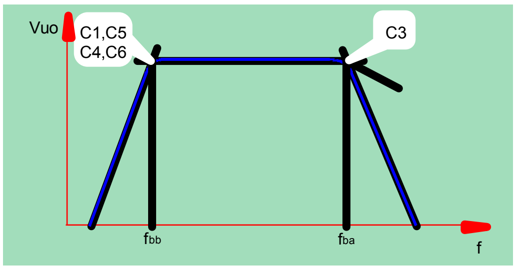
Selain itu □ dan r_{be} tergantung dari arus kolektor. Harga yang telah dihitung hanya dapat digunakan sebagai pengarah. Penguat yang dibahas sekarang dapat dipandang seperti Gambar 5.22

Penguat mempunyai sifat menguatkan sinyal dengan penguatan beban kosong atau terbuka atau *open loop* V_{UO} 257,6 kali sampai 2189,6 kali (tergantung pengaturan posisi R4).

Sudah barang tentu penguatan beban kosong V_{UO} tidak sama besar dari f=0Hz (DC) sampai f = ∞. Frekuensi batas bawah f_{bb} ditentukan oleh kapasitor C1, C5. Kapasitor C1 bersama dengan tahanan masukan TR1 membentuk pelalu

atas.Kapasitor C5 bersama tahanan beban R_L membentuk sebuah pelalu atas. R_L dapat merupakan tahanan masukan tingkat berikutnya.

Untuk frekuensi rendah Xc dari C4, C6 selalu semakin besar. Dengan demikian umpan balik negatif naik dan penguatan menurun, lihat Gambar 5.23.



Gambar 5.23. Pembatasan tanggapan frekuensi

Penguatan dari hasil perhitungan di atas berlaku hanya untuk daerah frekuensi tengah saja (sekitar 20Hz······20 kHz).

TUGAS 2

Jika Tugas 1 sudah sesuai antara hasil pengukuran dengan nilai secara teori, maka lanjutkan tugas 2 ini. Diharapkan dalam 1 kelas terdapat 12 buah penguat (per grup 3 siswa). Solderlah semua kapasitor kecuali C10 tidak disolder. Siapkan generator fungsi (FG) dan osiloskop (CRO), hubungkan kuluaran FG pada masukan penguat (a) dan CRO kanal 1 pada (a) dank anal 2 pada (A). Aturlah FG pada bentuk gelombang sinus dan amplitudo sekitar 5mVpp dengan frekuensi 1kHz. Bacalah penunjukkan CRO dan lengkapi tabel pengukuran berikut ini. Setiap grup bertugas memasukkan satu lajur data sesuai nomor urut PRT-nya.

Bentuk gelombang sinus, f=1kHz, Ui=5mVpp (sinyal keluaran tidak boleh cacat)

No PRT	V_{UO} min	V_U min (jumper "m")	V_{UO} maks	V_U maks (jumper "m")
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
Hasil terendah				
Hasil tertinggi				
Selisih terendah tertinggi				

Harga perhitungan untuk V_U min =............

Harga perhitungan untuk V_U maks =............

Harga perhitungan untuk V_{UO} min =............

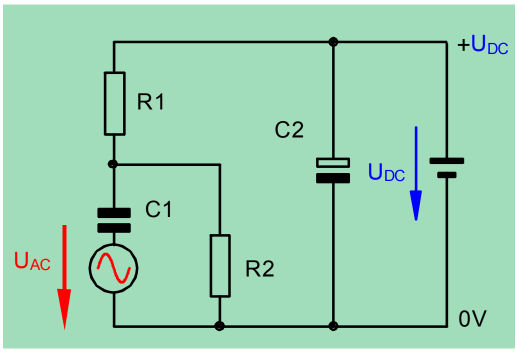
Harga perhitungan untuk V_{UO} maks =............

Kesimpulan : ……………………………………………...…………………………………

…………………………………………………………………….………………………..……

…………………………………………………………………….………………………..……

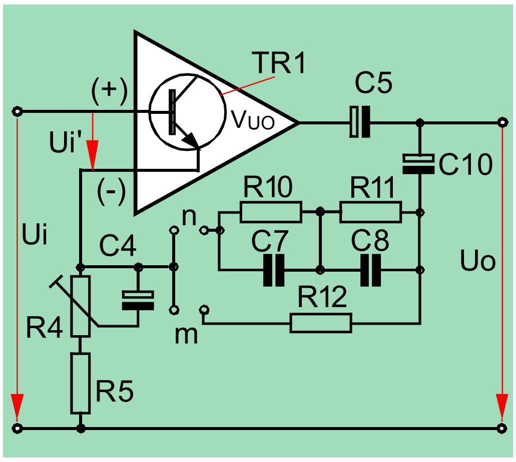
…………………………………………………………………….………………………..……

PERTANYAAN	S/B
1. Sumber tegangan DC membentuk suatu hubung singkat untuk sinyal AC	
2. Tahanan Rt untuk arus AC adalah Rt=R1+R2 	
3. Fungsi C6 dalam rangkaian yang dibahas untuk meniadakan umpan balik untuk sinyal AC.	
4. Secara keseluruhan, komponen yang menentukan sifat penguat adalah transistor.	
5. Umpan balik “luar” akan menyeragamkan sifat penguat	
6. Penguatan penguat tanpa umpan balik untuk masing-masing PRT sangat banyak perbedaan satu sama lain,karena toleransi yang sangat besar pada transistor.	

Jaringan umpan balik negatif "luar"

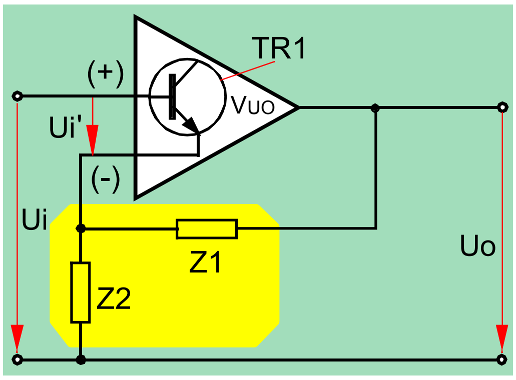
Pengertian *jaringan umpan balik "luar"* adalah jaringan antara *keluaran penguat (C10) ke masukan penguat (emitor TR1 untuk memperoleh umpan balik negatif)*. Komponen umpan balik dapat diganti dengan memindahkan kawat penghubung (*jumper*). Jika kawat penghubung berada pada **"m"**, sinyal keluaran diumpan balikkan melalui tahanan R12, dimana komponen ini tidak terpengaruh oleh frekuensi, melalui C10 (C10 nilainya terlalu besar untuk sinyal audio). Jika kawat penghubung berada pada **"n"**, umpan balik negatif akan bergantung frekuensi dan sesuai dengan penyama (ekualisasi = *equalization*) untuk piringan hitam RIAA (*Recording Industry Association of America* = Asosiasi Industri Rekaman Amerika), komponen itu terdiri dari jaringan R10,R11 dan C7 serta C8.

Penguatan dengan umpan balik negatif "luar"



Gambar 5.24. Umpan Balik "luar"

Model dari gambar 5.22 diubah. Basis dipisah menjadi (+) dan emitor menjadi (-).Tegangan kendali keseluruhan terletak antara basis (+) dan emitor (-) dari TR1 dan dinyatakan sebagai U1' lihat gambar 5.24. Untuk perhitungan penguatan model dari gambar 5.24 disederhanakan lagi. Seperti Gambar 5.25. Impedansi Z2 adalah umpan balik negatif antara keluaran dan emitor TR1. Impedansi Z1 adalah umpan balik antara emitor TR1 dan massa (0V). Elemen R4 dan R5 telah dijelaskan pada umpan balik negatif arus dalam "jaringan penguat". Dalam umpan balik negatif pada gambar 5.24 elemen ini bekerja kembali.



Gambar 5.25. Penguat dengan umpan

balik Z1 dan Z2

Penguatan tanpa umpan balik $V_{UO} = \frac{U_O}{U_i'}$ dengan $U_i' = U_i - U_O\left(\frac{Z1}{Z1+Z2}\right)$ dimana $U_A\frac{Z1}{Z1+Z2}$ merupakan tegangan yang dikembalikan dari keluaran ke masukan.

$$V_{UO} = \frac{U_O}{U_i - U_O\left(\frac{Z1}{Z1+Z2}\right)}$$

$$V_{UO}\left(U_i - U_O\left(\frac{Z1}{Z1+Z2}\right)\right) = U_O$$

$$V_{UO} x U_i - V_{UO} x U_O\left(\frac{Z1}{Z1+Z2}\right) = U_O$$

$$V_{UO} x U_i = U_O + V_{UO} x U_A\left(\frac{Z1}{Z1+Z2}\right) = U_O\left(1 + V_{UO} x\left(\frac{Z1}{Z1+Z2}\right)\right)$$

$$\frac{U_A}{U_i} = \frac{V_{UO}}{1 + V_{UO} x\left(\frac{Z1}{Z1+Z2}\right)} = \frac{1}{\frac{1}{V_{UO}} + \left(\frac{Z1}{Z1+Z2}\right)} = \frac{1}{\frac{1}{V_{UO}} + \frac{1}{1+\left(\frac{Z2}{Z1}\right)}}$$

$$V_U = \frac{1}{\frac{1}{V_{UO}} + \frac{1}{1+\left(\frac{Z2}{Z1}\right)}}$$

Jika $V_{UO} >> 1 + \frac{Z2}{Z1}$

Maka :

$$V_U = \frac{1}{\frac{1}{1+\frac{Z2}{Z1}}}$$

$$V_U = 1 + \frac{Z2}{Z1}$$

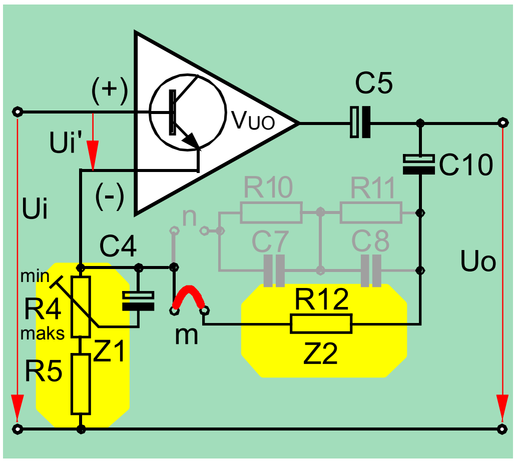
Dari sini terlihat bahwa penguatan V_U tidak lagi tergantung dari penguatan beban kosong V_{UO}! Tetapi ditentukan oleh Z1 dan Z2. Jadi jaringan umpan balik negatif Z1 dan Z2 menentukan sifat penguat!

Sifat penguat secara keseluruhan hanya ditentukan oleh jaringan umpan balik Z1 dan Z2

Sisi baiknya : sifat yang berbeda dari transistor TR1, TR2 praktis tidak mempengaruhi sifat dari penguat keseluruhan !

Dengan syarat $V_{UO} >> 1+\frac{Z2}{Z1}$ dalam praktek persyaratan ini hampir selalu terpenuhi. Dengan demikian penguatan penguat dapat dihitung dengan rumus sederhana.

Perhitungan penguatan V_U dengan umpan balik negatif "luar"



Gambar 5.26. Penguat dengan umpan balik “m”

Data : V_{UO} maks = 2189.6 kali

V_{UO} min = 257.6 kali

Kawat penghubung umpan balik pada kedudukan **“m”**, berarti umpan balik linier. Umpan balik berupa tahanan R12 sebesar 15kΩ.

Z2 = R12

Z1 = R4 + R5, V_U maks jika R4 = 0 Ω (hubung singkat)

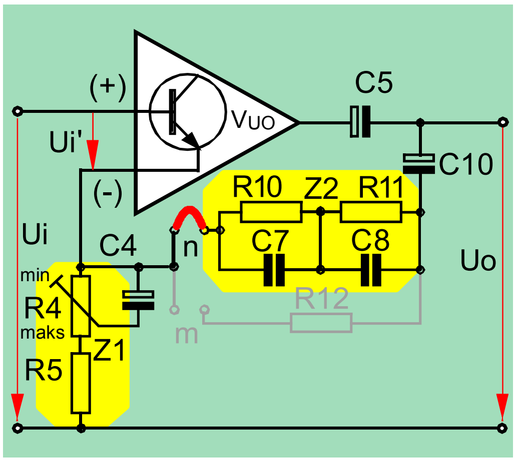
V_U min jika R4 = 5kΩ

$$V_U \min = 1+\frac{R12}{R4+R5} = 1+\frac{15k\Omega}{5k\Omega+220\Omega} = 3{,}8 kali$$

(V_{UO} min = 257.6 berarti Vuo >> 3,8)

$$V_U maks = 1+\frac{R12}{R4+R5} = 1+\frac{15k\Omega}{0\Omega+220\Omega} = 69 kali$$

(V_{UO} = 2189.6 berarti Vuo >> 68)



Gambar 5.26. Penguat dengan umpan balik "m"

Kawat penghubung umpan balik pada kedudukan **n**, berarti jaringan umpan balik tergantung frekuensi!

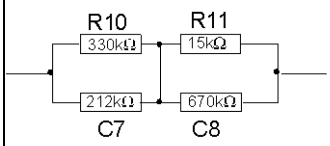
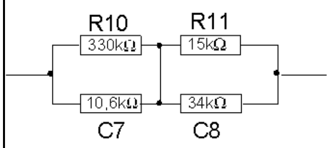
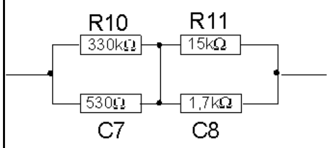
Z2 = terdiri dari R11 paralel C8 disambung seri dengan R10 paralel C7

Z1 = R4 disambung seri R5.

Karena umpan balik tergantung frekuensi, maka penguatan juga tergantung frekuensi. Pada frekuensi tinggi X_{C7} dan X_{C8} selalu mengecil dengan menaiknya frekuensi. Untuk melihat sifat penguatan dari penguat dengan jaringan umpan balik **"n"** maka dipilih 3 besaran frekuensi. Kemudian impedansi Z2 dapat dihitung yang selanjutnya penguatan untuk masing-masing besaran frekuensi dapat dihitung.

Pada tabel 1 dihitung besar impedansi Z2 pada masing-masing frekuensi dan pada tabel 2 dihitung besar penguatan tanpa beban V_{UO} dan penguatan rangkaian dengan umpan balik luar V_U. Perhitungan $|Z2|$ hanya pendekatan dengan tidak memperhitungkan sudut fasa, sekedar untuk mempermudah analisis kerja rangkaian.

Tabel 1.Penghitungan impedansi |Z2|

f (Hz)	R11 (Ω)	Xc8 (Ω)	R10 (Ω)	Xc7 (Ω)	Rumus Z2		Z2 (Ω)
50	15k	670k	330k	212k		⇒R11<<Xc8 ⇒R10//Xc7 >>R11	≅ R10//Xc7 ≅ 129k
1k	15k	34k	330k	10,6k		⇒Xc7<<R10 ⇒R11//Xc8 ≅ Xc7	≅ R11//(Xc8+Xc7) ≅ 21k
20k	15k	1,7k	330k	530k		⇒Xc8<<R11 ⇒(R10//Xc7) <<R11	≅ Xc8 ≅ 1,7k

Tabel 2 Perhitungan penguatan V_U min

f (Hz)	Z2 (Ω) dari tabel 1	Z1= R4+R5 (Ω)	$V_U \cong 1+\frac{Z2}{Z1}$ pendekatan	$V_U = \frac{1}{\frac{1}{V_{UO}}+\frac{1}{1+\frac{Z2}{Z1}}}$ tepat	V_{UO}	$1+\frac{Z2}{Z1}$	$\frac{V_{UO}}{1+\frac{Z2}{Z1}}$
50	129k	5,22k	25,7	23,4	257,6	25,7	10,0
1k	21k	5,22k	5,0	4,9	257,6	5,0	51,3
20k	1,7k	5,22k	1,3	1,3	257,6	1,3	194,3

Dalam tabel 2 dapat dilihat, bahwa perhitungan untuk V_U pada frekiensi 50 Hz terdapat penyimpangan antara hasil yang didapat dengan rumus pendekatan dan rumus. Untuk frekuensi lainnya persyaratan $V_{UO} \gg 1+\frac{Z2}{Z1}$ terpenuhi. Dalam

tabel 3 perhitungan V_U maksimum pada frekuensi 50Hz hasil kedua rumus masih berbeda. Karena perbandingan V_{UO}: $1+\frac{Z2}{Z1}$ sangat kecil, hanya 3,7 saja.

Tabel 3 Perhitungan penguatan V_U maks

f (Hz)	Z2 (Ω) dari tabel 1	Z1=R5 (Ω)	$V_U \cong 1+\frac{Z2}{Z1}$ pendekatan	$V_U = \frac{1}{\frac{1}{V_{UO}}+\frac{1}{1+\frac{Z2}{Z1}}}$ tepat	V_{UO}	$1+\frac{Z2}{Z1}$	$\frac{V_{UO}}{1+\frac{Z2}{Z1}}$
50	129k	220	587,4	463,1	2189.6	35	3,7
1k	21k	220	96,5	92,4	2189.6	4,3	22,7
20k	1,7k	220	8,7	8,7	2189.6	1,3	250,9

Tabel 4 Penguatan dalam dB

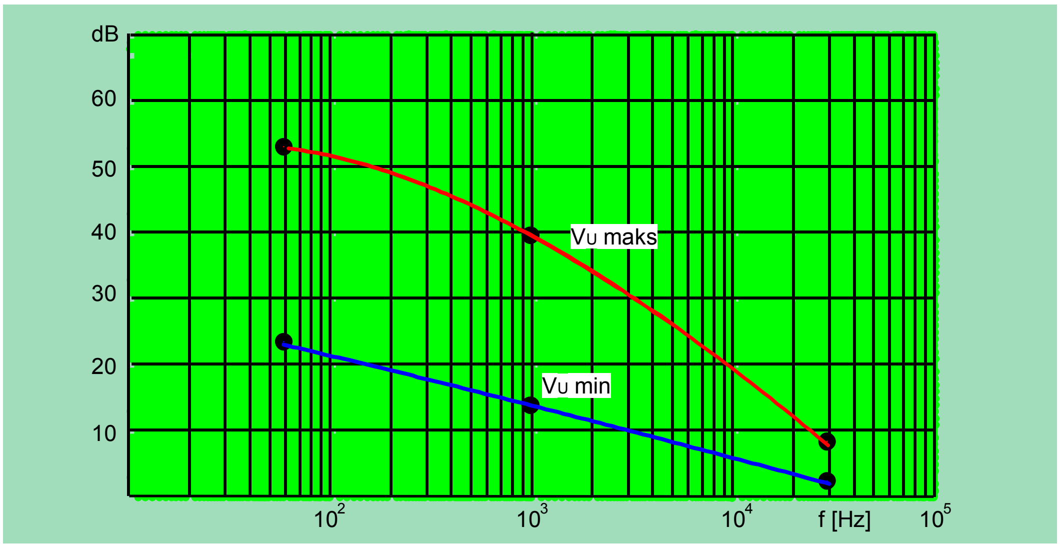
f (Hz)	V_{UO} (maks)	dB	V_{UO} (min)	dB	V_U (maks)	dB	V_U (min)	dB
50	2189.6	66,8	257,6	48,2	463,1	53,3	23,4	27,4
1k	2189.6	66,8	257,6	48,2	92,4	39,3	4,9	13,9
20k	2189.6	66,8	257,6	48,2	8,7	18,8	1,3	2,4

Syarat $V_{UO} \gg 1+\frac{Z2}{Z1}$, tidak terpenuhi. V_{UO} hanya 2,6 kali lebih besar dari $1+\frac{Z2}{Z1}$. Pada 1kHz perbedaan menjadi lebih kecil dan pada 20 kHz persyaratan $V_{UO} \gg 1+\frac{Z2}{Z1}$ pasti terpenuhi.

Untuk hasil yang tepat dengan rumus sederhana berlaku jika V_{UO} paling tidak 10kali lebih besar dari faktor $1+\frac{Z2}{Z1}$. Ini berlaku untuk semua juga hitungan praktis. Penguatan *open loop* (V_{UO}) seharusnya paling tidak 10kali lebih besar

dari faktor $1+\frac{Z2}{Z1}$, dengan demikian penguatan tidak lagi bergantung pada V_{UO}, melainkan hanya bergantung dari Z2 dan Z1

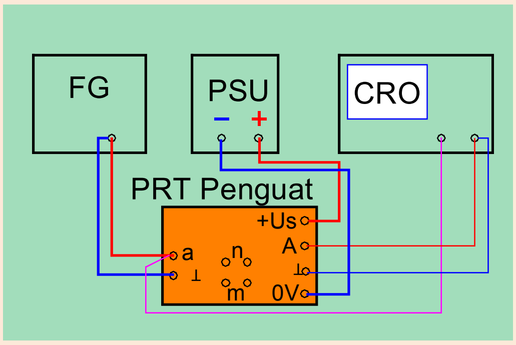
Sifat penguat akan hanya bergantung pada jaringan umpan balik luar jika $V_{UO} > 1+\frac{Z2}{Z1}$ (minimum 10 kali)



Gambar 5.27. Penguatan V_U terhadap frekuensi

Gambar 5.27 menampilkan tanggapan frekuensi dari penguat pemungut suara magnetik diambil dari data table 4. Dari gambar 5.27 terlihat dengan naikknya frekuensi sinyal maka akan semakin rendah penguatan penguat.

TUGAS 3



Gambar Rangkaian Pengukuran

Rangkailah PRT penguat yang sudah disolder lengkap dengan peralatan seperti rangkaian pengukuran disamping ini. Jumper pada PRT di set pada "n", R4 di set untuk penguatan minimum. Atur FG pada gelombang sinus dan frekuensi sesuai tabel. Amplitudo FG diatur 5mVpp (di ubah bila bentuk gelombang keluarannya cacat)

Lengkapi tabel tugas berikut dari hasil perhitungan teori. Masukkan hasil pengukuran yang diperoleh

Tabel II :

Perhitungan dan pengukuran penguatan dengan umpan balik minimum (V_U min.) dan penguatan beban kosong minimum (V_{UO} min.) dengan penghubung umpan balik pada n.

.f (Hz)	Perhitungan		Pengukuran		Perhitungan		$\frac{V_{UO}}{1+\frac{Z2}{Z1}}$
	Kasar	Tepat	V_U	V_{UO}	|Z1|	|Z2|	
	$V_U = 1+\frac{Z2}{Z1}$	$V_U = \frac{1}{\frac{1}{V_{UO}}+\frac{1}{1+\frac{Z2}{Z1}}}$					
50							
1k							
20k							

Tabel III.

Perhitungan dan pengukuran penguatan dengan umpan balik maksimum (V_U maks.) dan penguatan beban kosong maksimum (V_{UO} maks) dengan penghubung umpan balik, pada n

.f (Hz)	Perhitungan		Pengukuran		Perhitungan		$\frac{V_{UO}}{1+\frac{Z2}{Z1}}$
	Kasar	Tepat	V_U	V_{UO}	|Z1|	|Z2|	
	$V_U = 1+\frac{Z2}{Z1}$	$V_U = \frac{1}{\frac{1}{V_{UO}}+\frac{1}{1+\frac{Z2}{Z1}}}$					
50							
1k							
20k							

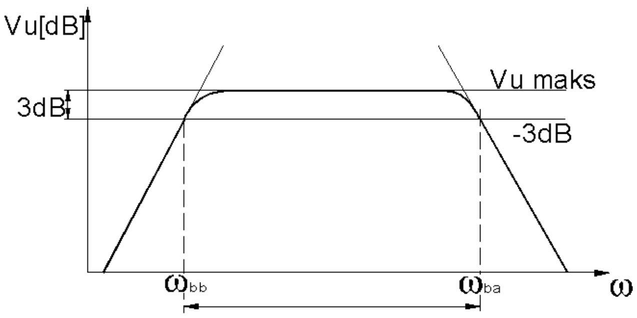
Kesimpulan : ……………………………………………...……………………………
…………………………………………………………………..…………………...……
…………………………………………………………………..…………………...……
…………………………………………………………………..…………………...……

PERTANYAAN	S/B
1. Penguatan penguat akan tepat/mendekati $1+\frac{Z2}{Z1}$ jika penguatan Vuo terhadap $1+\frac{Z2}{Z1}$ sama besarnya.	
2. Rumus digunakan jika Vuo kecil dibanding $1+\frac{Z2}{Z1}$ adalah $V_U=1+\frac{Z2}{Z1}$	
3. Umpan balik harus sebesar mungkin maka penguatan tidak tergantung dari toleransi komponen	
4. Penguatan menjadi besar jika kita memperkecil umpan balik	
5. Penghubung umpan balik pada n, penguatan sinyal pada frekuensi rendah akan lebih kecil dari penguatan pada frekuensi tinggi.	

5.3. Lebar Daerah Frekuensi

5.3.1. Pengertian lebar daerah frekuensi (band width

Lebar daerah frekuensi b adalah selisih dari frekuensi batas atas(ba) dengan frekuensi batas bawah (bb). Sebagai frekuensi batas disebut frekuensi, penguatan pada frekuensi itu turun sekitar -3 dB.



Gambar 5.28. Lebar daerah frekuensi

Penyebab pembatasan daerah frekuensi

Tidak ada penguat yang memiliki lebar daerah frekuensi yang tak terhingga (∞).

Lebar daerah frekuensi dibatasi oleh kekhususan seperti berikut :

- Kapasitansi, induktansi yang menyebar dalam rangkaian.
- Kapasitansi dalam semikonduktor (kapasitansi basis - kolektor).
- Bagian induktif misalnya dalam kapasitor-kapasitor, tahanan-tahanan.
- Pemilihan rangkaian.

Dengan upaya rangkaian yang sesuai dicoba untuk memperoleh sebuah daerah frekuensi yang optimal.

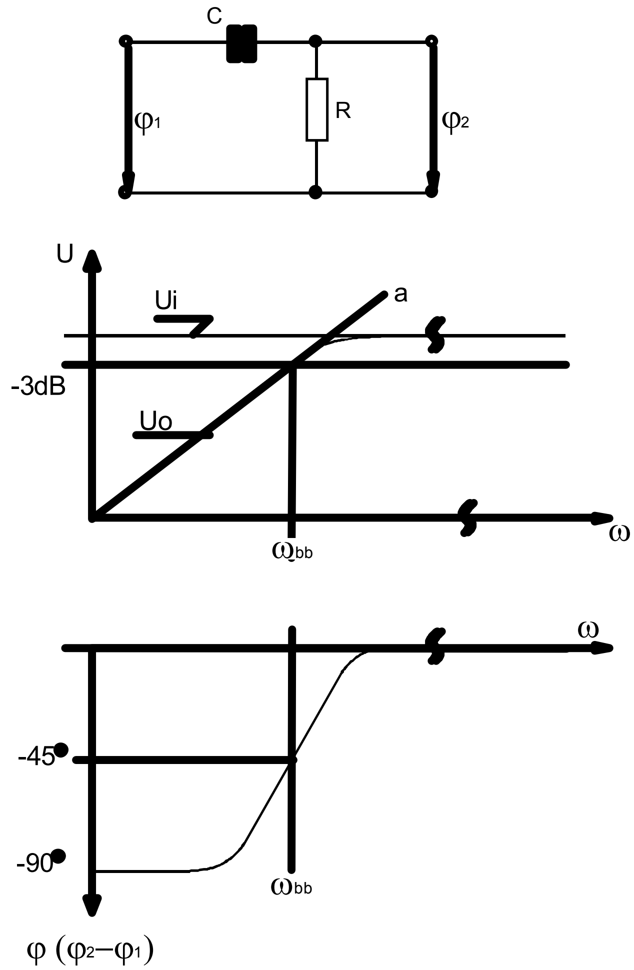
Akibat pembatasan daerah frekuensi

Dengan adanya pembatasan daerah frekuensi maka hanya daerah frekuensi tertentu saja yang dikuatkan. Hal ini dapat pula suatu hal yang diinginkan, misalnya dalam penguat selektif seperti penguat frekuensi antara, atau penyelesaian gangguan misalnya dalam penguat video.

Paling mengganggu adalah pada ujung daerah ω bb, ωba. Selain penurunan amplitudo timbul pula pergeseran phasa φ yang tergantung dari frekuensi.

Penampilan pelalu atas

Pandangan berikut hanya berlaku untuk sebuah pelalu atas sederhana.



$$\frac{U_O}{U_i} = V_U = \frac{R}{R + X_c}$$

$$V_U = \frac{1}{\frac{\omega_b}{j\omega} + 1}$$

Gambar 5.29. Pelalu atas

Sifat pelalu atas

Amplitudo :

⇒ Mulai dari frekuensi lingkaran OHz amplitudo Uo naik 20 dB tiap dekade (garis a mempunyai kemiringan 20 dB/dekade = 6 dB/oktaf).

⇒ Pada frekuensi ω = ~ amplitudo Uo = Ui.

⇒ Pada frekuensi ωb amplitudonya 3 dB di bawah tegangan keluaran maksimum. ωb adalah frekuensi batas. Pada frekeunsi batas R = Xc.

Phasa :

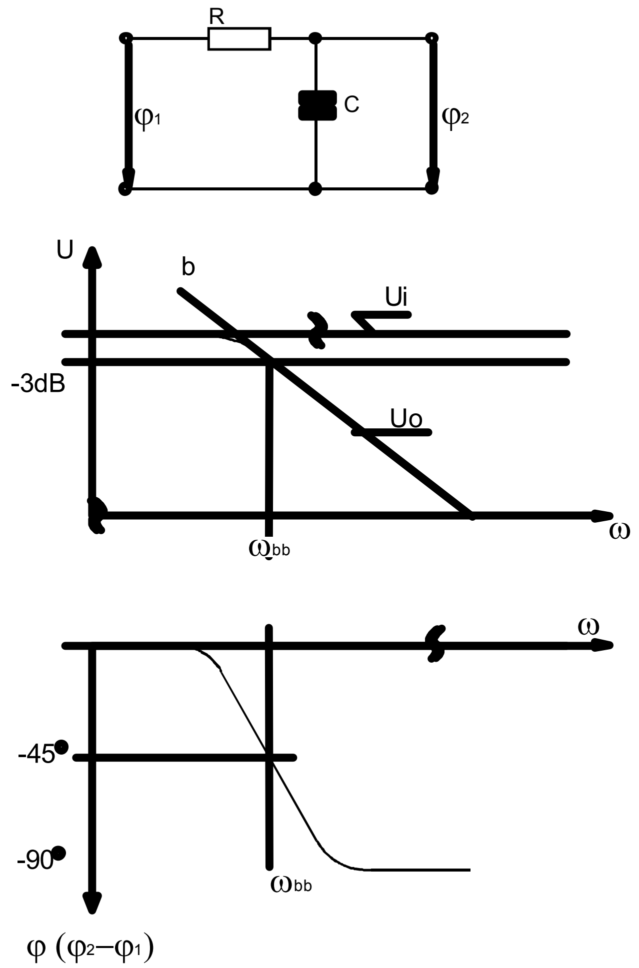
* Mulai frekuensi lingkaran OHz pergeseran phasa Q2-Q1 naik dari - 90^o menuju 0^o

* Pada frekuensi ω = ~ pergeseran phasa = 0^o.

* Pada ωb, frekuensi batas, pergeseran phasa - 45^o.

Penampilan pelalu bawah

Pandangan berikut hanya berlaku untuk sebuah pelalu bawah sederhana.



$$\frac{U_O}{U_i} = V_U = \frac{X_c}{R + X_c}$$

$$V_U = \frac{1}{\frac{j\omega}{\omega_b} + 1}$$

Gambar 5.30. Pelalu bawah

Sifat pelalu bawah

Amplitudo :

⇒ Mulai frekuensi lingkaran OHz amplitudonya konstan hingga ω b.

⇒ Mulai ω b amplitudonya turun dengan kemiringan 20 dB tiap dekade = -6 dB tiap oktaf.

⇒ Pada frekuensi ω = ~ tegangan keluarannya 0.

⇒ Pada frekuensi ω b amplitudonya turun sekitar 3 dB. ω b adalah frekuensi batas dengan itu R = Xc

Phasa :

* Mulai frekuensi OHz phasanya konstan 0^o hingga frekuensi batas ω b.

* Mulai ωb pergeseran phasanya Q2-Q1 berharga dari 0osampai -90^o.

* Pada ω = ~ pergeseran phasanya -90^o

* Pada ωb, frekuensi batas, pergeseran phasa Q2-Q1= -45^o.

5.3.2. Pelalu bawah dan pelalu atas dalam rangkaian penguat depan (gambar 5.7)

Dalam rangkaian dalam gambar 5.7 bekerja 4 untaian RC sebagai pelalu atas.

⇒ C1 dengan tahanan masukan r1 dari TR1.

⇒ C5 dengan tahanan beban RL pada A.

⇒ C4 dengan R4, R5. Semakin tinggi frekuensi, umpan balik semakin kecil (penampilan pelalu atas).

⇒ C6 dengan R9 (berpenampilan seperti 3).

Frekuensi batas bawah ω bb ditentukan oleh 4 untaian RC. Kemiringan garis a (gambar 5.29) berharga hanya 20 dB pada sebuah untai RC.

Misalnya :

a). Untaian RC tidak saling berpengaruh.

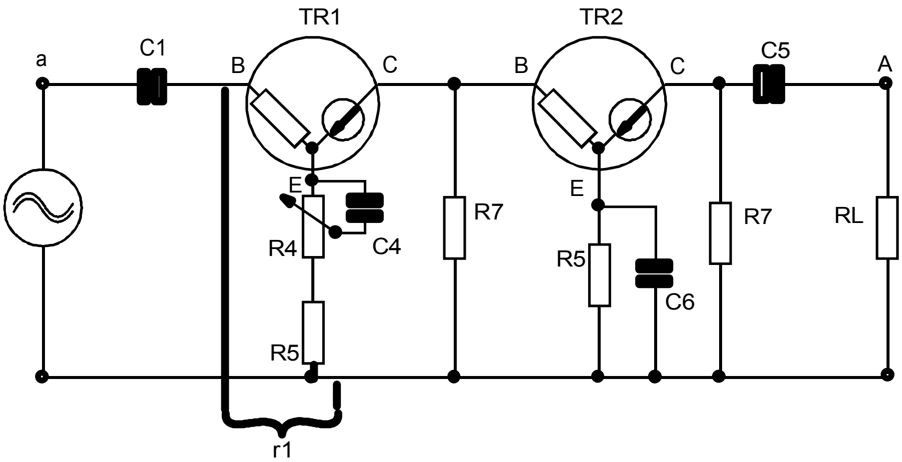
b). Mempunyai batas frekeunsi batas yang sama.

Dalam rangkaian gambar 5.7 permisalan

a). Tidak terpenuhi juga

b). Tidak terpenuhi 100%. Maka kemiringan / kemiringan garis a berharga antara

20 dB ...... 4x20 dB tiap dekade (6 dB ...... 24 dB tiap oktaf).



Gambar 5.31. Rangkaian pengganti rangkaian 53 - 12.01 secara AC untuk frekuensi rendah tanpa "Umpan balik luar"

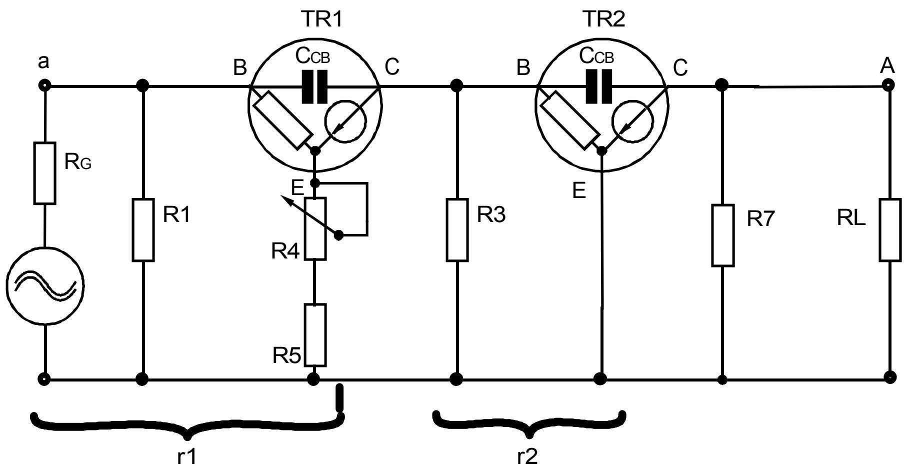
Dalam rangkaian gambar 5.7 bekerja 2 kombinasi RC sebagai pelalu bawah.

1. Kapasitansi kolektor basis C_{CB} (TR 1) bersama dengan tahanan masukan r1, r2.

2. Kapasitansi kolektor basis C_{CB} (TR 2) // C3 bersama dengan tahanan masukan r2 dan R7 // RL.

   Semakin tinggi frekuensi, semakin besar umpan balik melalui C_{CB} juga C_{CB} // C3, ini merupakan penampilan pelalu bawah.

Dalam prakteknya kejadian 2 dan 1 dapat dikesampingkan. Kerja dari C_{CB} diperkuat dengan pemasangan C3 secara paralel. Garis b (gambar 5.30) turun dengan -20 dB tiap dekade (-6 dB tiap oktaf).

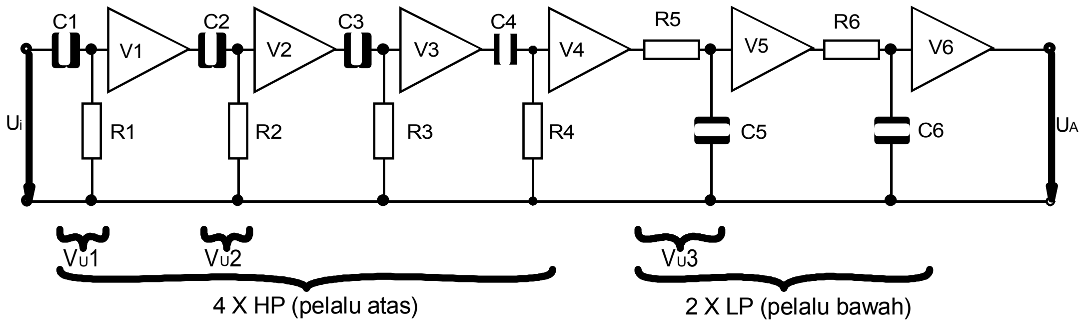


Gambar 5.32 Rangkaian pengganti rangkaian dalam gambar 5.7 secara AC untuk frekuensi tinggi tanpa “umpan balik luar”

5.3.3. Penguatan beban kosong dengan pembatas daerah frekuensi.

Dalam bab di depan, telah dihitung penguatan beban kosong V_{UO}.Perhitungan ini hanya berlaku untuk daerah frekuensi tengah dimana kapasitansipenggandeng dan kapasitansi kolektor-basis tidak efektif.Untuk perbandingan sesungguhnya kapasitansi-kapasitansi ini harus diperhatikan, dimana ini yang menentukan lebar daerah frekuensi. Sebagai pandangan perbandingan yang sesungguhnya kita ambil bahwa untaian RC tidak saling pengaruh. Dengan itu diperoleh *gambar rangkaian pengganti* dimana menunjukkan penampilan yang samaseperti rangkaian sesungguhnya dalam paragrap 2.

Elemen-elemen R dan C terbentuk dari kombinasi dari misalnya tahanan masukan rbe// pembagi tegangan basis R1, R2. Yang digambarkan tanpa R dan C secara perangkat keras. V1 .... V6 adalah penguat pemisah untuk memisahkan untaian RC.



Gambar 5.33. Filter yang tersambung

Dalam daerah frekuensi tengah HP dan LP tidak efektif yang efektif adalah hanya penguat V1 ..... V6. Penguatan ini dengan begitu adalah penguatan beban kosong V_{UO}. Dari paragrap 1.2.1 dan 1.2.3. dapat dikutip penguatan dari

$$HP = Vu = \frac{1}{\frac{\omega b}{\omega} + 1} \qquad ; LP = \frac{1}{\frac{\omega b}{\omega} + 1}$$

Faktor "j" diabaikan,karena hanya dipandang dari segi amplitudo.

Semua "penguat-RC" dan penguat V1.......V6 terhubung secara seri.Penguatan-penguatannya saling diperkalikan, maka :

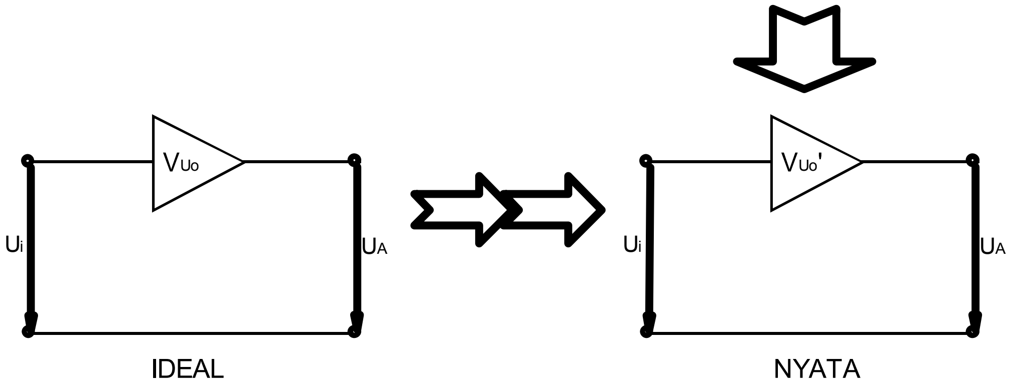
$$Vuo' = \frac{Uo}{Ui} = Vu1 . V1 . Vu2 . Vu3 . V3 . Vu4 . V4 . Vu5 . V5 . Vu6 . V6$$

Untuk penguatan dari V1 ... V6 penguatan beban kosongnya adalah V1 *.... * V6=Vuo.

Untuk "penguatan" untaian-RC fungsi sebenarnya $VU = \frac{1}{\cdots\cdots}$ maka :

$$Vuo' = Vuo \underbrace{\left[\frac{1}{\frac{\omega b1}{\omega} + 1} . \frac{1}{\frac{\omega b2}{\omega} + 1} . \frac{1}{\frac{\omega b3}{\omega} + 1} . \frac{1}{\frac{\omega b4}{\omega} + 1} \right]}_{HP} . \underbrace{\left[\frac{1}{\frac{\omega}{\omega b5} + 1} . \frac{1}{\frac{\omega}{\omega b6} + 1} . \right]}_{LP}$$

Penguat nyata yang dibahas (gambar 5.7) tidak mempunyai penguatan beban kosong Vuo melainkan Vuo'. Maka gambar rangkaian penggantinya seperti berikut.



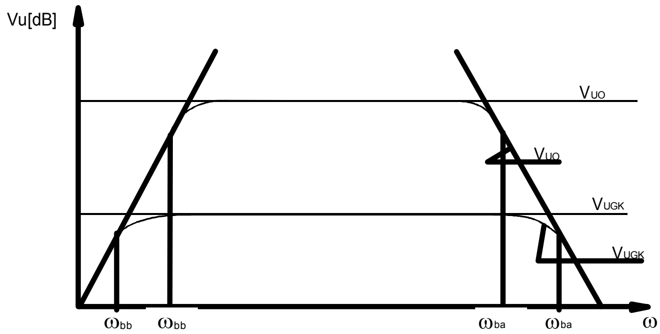
Gambar 5.34. Vuo ideal dan nyata

Dalam prakteknya frekuensi batas ωb kebanyakan dipilih sedemikian, bahwa untaian RC dari HP dan untaian RC dari LP yang pertama-tama menentukan frekuensi batas.

Gambar berikut :

Menunjukkan perbandingan :

1. Penguatan beban kosong tanpa memperhatikan pembatasan daerah frekuensi Vuo.
2. Penguatan dengan umpan balik negatif (penguatan dalam pengoperasian) tanpa memperhatikan pembatasan daerah frekuensi VU.
3. Penguatan beban kosong dengan memperhatikan pembatasan daerah frekuensi Vuo' .
4. Penguatan dengan umpan balik negatif (penguatan dalam pengoperasian) dengan memperhatikan pembatasan daerah frekuensi VU' .



Gambar 5.35.Kurva Vuo’ dan Vu’ adalah keadaan nyata.

5.3.4. Kemiringan pembatas daerah frekuensi.

Pengertian : Kemiringan adalah perbandingan dari perubahan penguatan dengan perubahan frekuensi.

$$\frac{\Delta V}{\Delta \omega} = \frac{V2 - V1}{\omega 2 - \omega 1} \qquad \left[\frac{\text{Penguatan}}{\text{Hertz}} = \frac{1}{\text{Hz}}\right]$$

Lazimnya kemiringan dalam $\frac{\text{dB}}{\text{dekade}}$ atau $\frac{\text{dB}}{\text{oktaf}}$

Pelalu atas HP (High Pass)

- **Untaian 1 RC**

Didepan telah ditulis bahwa penguatan :

$$Vu = \frac{1}{\frac{\omega b}{j\omega} + 1}$$

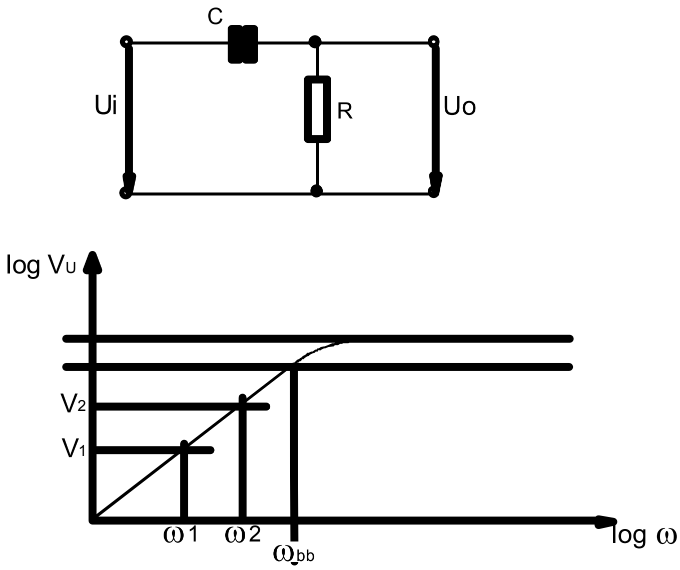
Kita perhatikan amplitudonya saja dan mengesampingkan j . Jika $\omega << \omega b$ maka dengan demikian : $\omega b / \omega >> 1$ .Hal ini hanya benar untuk daerah di bawah ωb .

Kemiringan dalam $\frac{dB}{oktaf}$; $\frac{dB}{dekade}$

a (dB) =	6 dB per Oktaf
	20 dB per Oktaf

Untuk 1 untai RC

* Lihat lembar rumus 6



Gambar 5.36. Kemiringan

- **Beberapa untai RC**

Syarat : Semua untaian RC mempunyai frekuensi batas yang sama. Tidak saling mempengaruhi satu sama lain.

$$Vu = \frac{\omega}{\omega b} \cdot \frac{\omega}{\omega b} \cdot \frac{\omega}{\omega b} \ldots\ldots$$

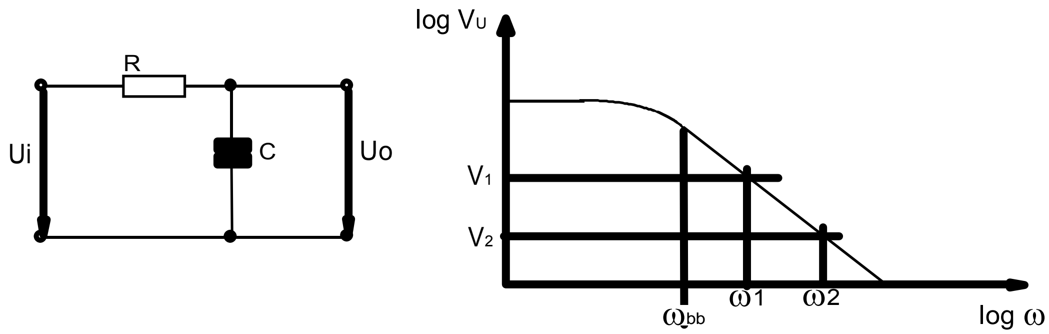
Kemiringan dalam $\frac{dB}{oktaf}$; $\frac{dB}{dekade}$

a (dB) =	n x 6 dB per Oktaf
	n x 20 dB per Oktaf

n = Jumlah untaian RC

Tiap RC memberikan kemiringan 6 dB / oktaf, 20 dB / dekade

Pelalu bawah LP (Low Pass).



Gambar 5.37. Low Pass

- **Satu untai RC**

Dari paragrap 1.2.2. kita kutip :

$$Vu = \frac{1}{\frac{\omega b}{j\omega} + 1}$$

Kita hanya memperhatikan amplitudo dan mengesampingkan j jika $\omega b >> \omega$.

Maka dengan begitu : $\frac{\omega}{\omega b} >> 1$ Hanya benar untuk daerah di atas ωb.

Kemiringan dalam $\frac{dB}{oktaf}$; $\frac{dB}{dekade}$

a (dB) = < - 6 dB per Oktaf
- 20 dB per Oktaf

Kemiringan negatif * Lihat lembar......

- **Beberapa untaian-RC**

Syarat : Semua untaian-RC memiliki frekuensi batas yang sama. Tidak mempunyai pengaruh satu sama lain.

$$Vu = \frac{\omega}{\omega b} \cdot \frac{\omega}{\omega b} \cdot \frac{\omega}{\omega b} \cdots\cdots$$

Kemiringan dalam $\frac{dB}{oktaf}$; $\frac{dB}{dekade}$

a (dB) = < -n x 6 dB per Oktaf
-n x 20 dB per Oktaf

n = Jumlah untaian RC

Kenaikannya negatif dan turun tiap untai-RC sekitar -6dB tiap oktaf, - 20dB tiap dekade.

Dalam teknik penguat, teknik filter pernyataan kemiringan dari pembatas daerah frekuensi memegang peran penting. Pernyataan dibuat hampir selalu dalam besaran dB/oktaf, dB/dekade.

Kemiringan pembatas dan susunan

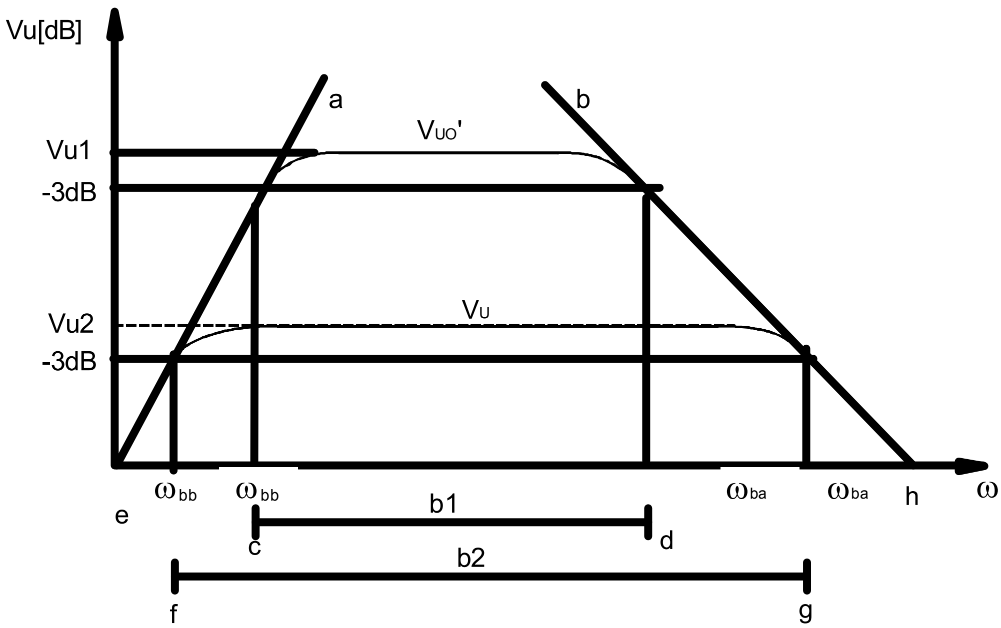
Pengertian susunan n berawal pada teknik filter. Setiap penguat memiliki pembatas daerah frekuensi, pengertian ini dapat juga digunakan disini. Susunan kadang dapat menunjukkan kemiringan sebuah pembatas daerah frekuensi.

Artinya :

Susunan n	Kemiringan				Jumlah Untaian RC
	HP		LP		
	dB/oktaf	dB/dekade	dB/oktaf	dB/dekade	
1	+ 6	+ 20	- 6	-20	1
2	+12	+ 40	-12	-40	2
3	+18	+ 60	-18	-60	3
4	+24	+ 80	- 24	-80	4
5	+30	+100	-30	-100	5

$$n = \frac{\text{kemiringan tiap oktaf [dB]}}{6\ \text{dB}} \quad \text{atau} \quad \frac{\text{kemiringan tiap oktaf [dB]}}{20\ \text{dB}}$$

5.3.5. Pengaruh penguatan pada lebar daerah frekuensi.



Gambar 5.38. Hubungan lebar daerah frekuensi V_{UO} dan V_U

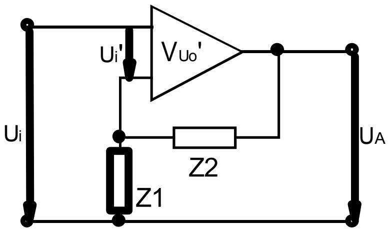
Lebar daerah frekuensi selebar mungkin dan penguatan.

Gambar 5.38 menunjukkan perbandingan penguatan dan lebar daerah frekuensi.Terlihat jelas bahwa dengan penguatan yang kecil lebar daerah

membesar. Lebar daerah tanpa umpan balik pada V_{UO}' = b1. Lebar daerah dengan umpan balik untuk VU' = b2.

Bagaimana jalannya frekuensi, penguatan ini dapat diterangkan?

Dari yang telah dibahas dimuka, kita dapat mengutip rangkaian dan rumus untuk perhitungan penguatan dengan umpan balik. Tetapi sekarang V_{UO} menjadi V_{UO}''



Gambar 5.38. V_{UO} dan V_{Uo}"

Dari rumus di muka dapat kita lihat bahwa penguatan V_U tergantung dari penjumlahan dua besaran.

Pertama dari $\frac{1}{V_{UO}'}$ jadi tergantung dari penguatan beban kosong yang nyata dimana jalannya V_{UO}' seperti dalam gambar 5.34.

Kedua dari $\frac{Z1}{Z1+Z2}$ dari jaringan umpan balik, dimana dapat tergantung pada frekuensi atau linier.

Untuk gambar 5.34 besaran kedua adalah linier. Jalannya penguatan V_U' tergantung dari penjumlahan dua besaran, yang dalam rumus mengambil pengaruh lebih kuat.

Dalam gambar 5.34, dari e sampai f dan dari g sampai h berlaku :

$\frac{1}{V_{UO}'} > \frac{Z1}{Z1+Z2}$ sehingga $V_{U'} = V_{UO'}$

Penguatan dengan umpan balik luar berlangsung seperti V_{UO}'

Dari f sampai g berlaku :

$\frac{Z1}{Z1+Z2} > \frac{1}{V_{UO}'}$ dengan itu $V_U' = 1 + \frac{Z2}{Z1}$

Penguatan berlangsung sesuai dengan umpan balik negatip !

Masih dari gambar 7. Melalui umpan balik negatif V_{UO}' maks = V2 berpotongan di atas V1 = V_U maks.

Lebar daerah frekuensi b1 membesar menjadi b2. Lebar daerah frekuensi b2 sesuai dengan lebar daerah frekuensi untuk V_{UO}' = V1.

Dengan demikian :

Lebar daerah frekuensi b selalu dibatasi melalui jalannya frekuensi dari V_{UO}'!

V_U selalu terletak dalam batas V_{UO}'!

Lebar daerah dalam fungsi penguatan.

Dari pengukuran atau perhitungan diketahui :

a) Penguatan V1

b) Frekuensi batas ωc, ω d, (V1)

c) Kemiringan pembatas daerah frekuensi atau susunan n.

Berapa besar lebar daerah frekuensi pada V2 ?

Sebagai patokan digunakan gambar 5.38.

<u>Pelalu atas (high pass HP)</u>

Dari rumus pada paragrap 4.1.2 (lihat lembar rumus 4) kita peroleh

$$\frac{Vu2}{vu1} = \frac{\omega 2^n}{\omega 1^n} \hat{=} \frac{V1}{V2} = \frac{\omega c^n}{\omega f^n} \Rightarrow \text{dalam gambar 5.38.}$$

Sehingga $\omega f = \sqrt{\frac{V2}{V1}} . \omega c$

<u>Pelalu bawah (low pass LP)</u> Dari rumus pada paragrap 4.2.2 (lihat lembar rumus 6) kita peroleh $\frac{Vu2}{vu1} = \frac{\omega 1^{n}}{\omega 2^{n}} \triangleq \frac{V2}{V1} = \frac{\omega d^{n}}{\omega g^{n}} \Rightarrow$ dalam gambar 5.38

Sehingga $\omega g = \sqrt{\frac{V1}{V2}}.\omega d$

<u>Lebar daerah frekuensi</u>

b1 (V1) ωd - ωc

b2 (V2) ωg - ωf

$$b2 = \underbrace{\sqrt[n]{\frac{V1}{V2}}.\omega d}_{LP} - \underbrace{\sqrt[n]{\frac{V2}{V1}}.\omega c}_{HP}$$

Masing-masing adalah

LP : V1, ωd
V2, ωg

HP : V1, ωc
V2, ωf

5.3. Perbandingan lebar daerah ke perbandingan penguatan.

$$\frac{b2}{b1} = \frac{p\sqrt[n]{\frac{V1}{V2}} - \sqrt[n]{\frac{V2}{V1}}}{P-1} \qquad P = \frac{\omega d}{\omega c}$$

Rumus di atas memberikan lebar daerah frekuensi b dan perbandingan $\frac{b2}{b1}$ untuk semua kemungkinan penguatan, kemiringan dan frekuensi batas.

Dalam prakteknya frekuensi batas atas ωd, ωg, kebanyakan terletak banyak lebih tinggi dari pada frekuensi batas bawah ωc, ωf.

Contohnya :

Penguat audio ωd, ωg, 20 kHz/ ωc, ωf 20 Hz

Op-Amp, ωd, ωg OHz (DC)/ ωc, ωf sampai MHZ.

Dengan demikian lebar daerah frekuensi boleh hanya frekuensi batas atas saja yang diperhatikan.

$$\left.\begin{array}{l} b1 \cong \omega d \\ b2 \cong \omega g \end{array}\right\} \text{untuk } \omega d >> \omega c$$

$$\frac{b1}{b2} = \frac{\omega g}{\omega d} = \frac{\sqrt[n]{\frac{V1}{V2}} . \omega d}{\omega d}$$

$$\frac{b1}{b2} \cong \sqrt[n]{\frac{V1}{V2}}$$

Perkalian penguatan dengan lebar daerah frekuensi.

Jika kemiringan dari LP = -20 dB per dekade, maka didapat

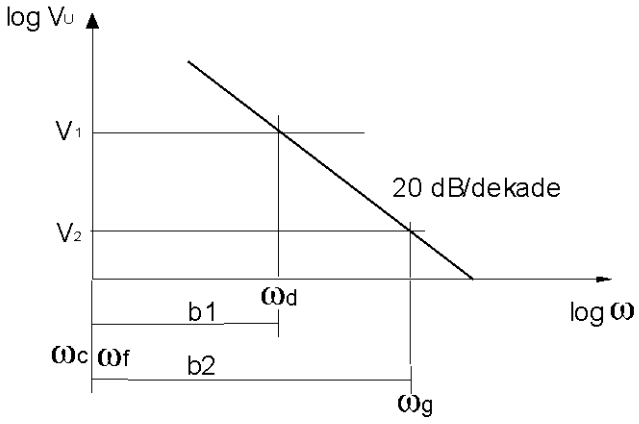
$\omega g = \frac{V1}{V2} \times \omega d$ dengan itu

$$\frac{b2}{b1} \cong \frac{\frac{V1}{V2} \cdot \omega d}{\omega d} \qquad V1 . b1 = V2 . b2$$

Perkalian penguatan dengan lebar daerah frekuesi hanya berlaku jika □d, □g □ c, □□f dan kemiringan LP = -20 dB/dekade.

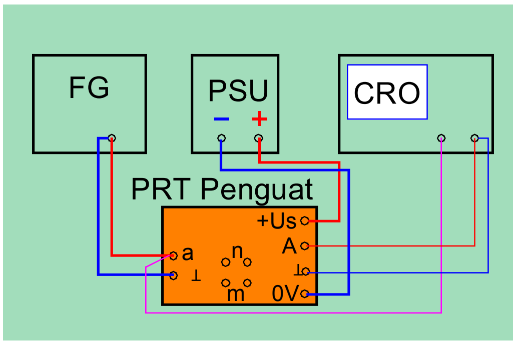
Tuntutan ini secara umum dipenuhi oleh Op-Amp.

V1 * b1 = V2 * b2.



Gambar 5.39. Kemiringan

TUGAS 4



Gambar Rangkaian Pengukuran

Rangkailah PRT penguat yang sudah disolder lengkap dengan peralatan seperti rangkaian pengukuran disamping ini. Jumper pada PRT di set pada “m”, R4 di set untuk penguatan minimum. Atur FG pada gelombang sinus dan frekuensi sesuai tabel. Amplitudo FG diatur 2mVpp (di ubah bila bentuk gelombang keluarannya cacat)

Lengkapi tabel tugas berikut dari hasil perhitungan teori. Masukkan hasil pengukuran yang diperoleh

TABEL I

Pengukuran tanggapan frekuensi dan tanggapan phasa tanpa umpan balik.

Tegangan masukan 2 mVpp (selalu dipertahankan).

f Hz	Uo Volt	Vu kali	Vu dB	S1 divisi	S2 divisi	Q
10						
20						
50						
100						
200						
500						
1k						
2k						
5k						
10k						
20k						
50k						
100k						

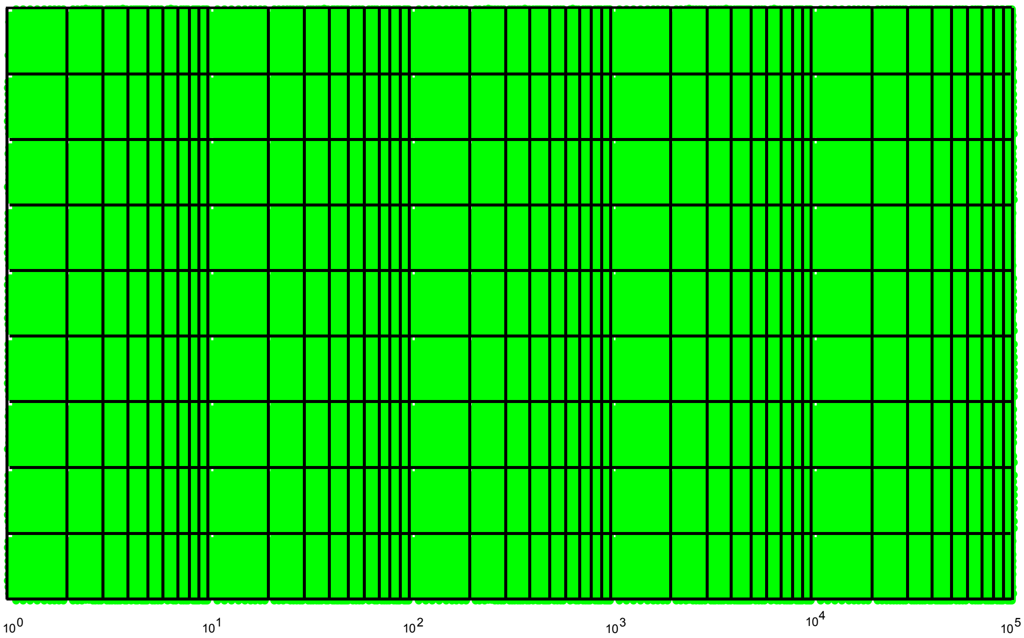
Keterangan .

Uo = tegangan keluaran.

Vu = penguatan tegangan.

$$Q = \text{pergeseran fasa} = \frac{180^o}{S2} x S1$$

Gambarlah hasil pengukuran ke lembar grafik berikut ini



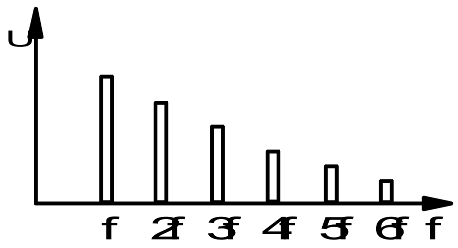
5.4. Pengukuran Kualitas Penguat Suara

Untuk dapat meletakkan suatu penguat dalam suatu kelas mutu, harus mengetahui data tekniknya. Biasanya pembuat peralatan menyertakan data-data teknik antara lain untuk sebuah penguat suara, berikut diuraikan data-data yang harus ada pada penguat depan :

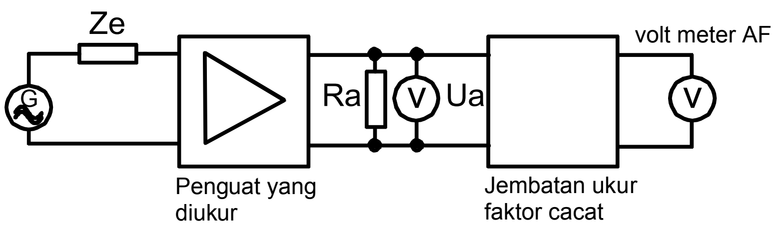
- Faktor cacat
- Cacat intermodulasi
- Daerah pemindahan (tanggapan frekuensi)
- Perbandingan sinyal ke desis
- Cakap silang
- Keseimbangan kanal

Faktor cacat

Faktor cacat adalah ukuran untuk cacat sebuah getaran sinus melalui harmonis sehingga disebut pula cacat harmonis.



Gambar 5.40. Frekuensi harmonisa (2f 3f dst) yang ditimbulkan



Gambar 5.41. Tata cara mengukur faktor cacat

Idealnya penguat hanya menguatkan sinyal frekuensi asli atau dasar, tapi karena dalam penguat terdapat komponen aktip yang bekerja tidak linier, maka selain sinyal asli timbul sinyal baru dengan frekuensi lain. Frekuensi baru merupakan

kelipatan frekuensi dasar (harmonis). Sinyal-sinyal harmonis ini turut dikuatkan bersama sinyal dasar, sehingga pada keluaran tertampil jumlah seluruh sinyal. Maka sinyal keluaran tidak sesuai lagi dengan sinyal masukan.

$$\text{Faktor cacat}\; k = \frac{\sqrt{U^2 f2 + U^2 f3 + \dots\dots\dots\, ..}}{\sqrt{U^2 f1 + U^2 f2 + U^2 f3 + \dots\dots}} x100\%$$

Gambar menunjukkan pengukuran faktor cacat, penguat dikendalikan mencapai harga tegangan nominal pada Ra.

Jembatan ukur faktor cacat ditala pada frekuensi yang sama dengan frekuensi generator, gunanya untuk menekan frekuensi dasar. Setelah jembatan ukur dipasang milivolmeter mengukur amplitudo gelombang harmonis keseluruhan, yang kemudian dikalibrasi sebagai faktor cacat dalam %.

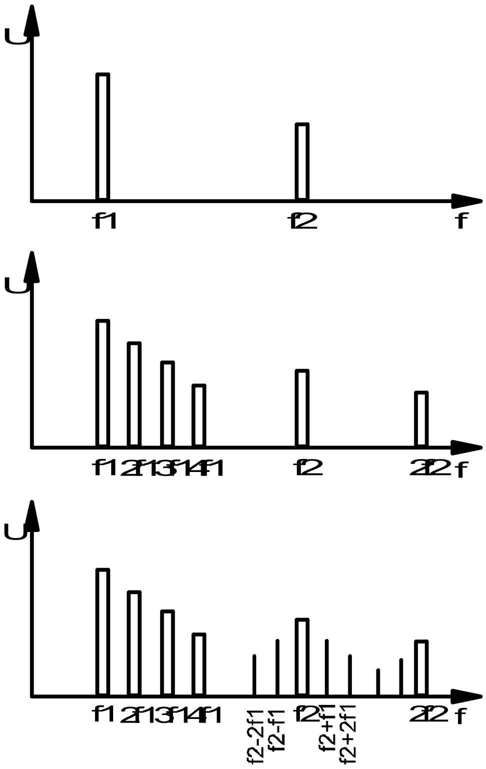
Cacat intermodulasi

Bila sebuah penguat dikendalikan secara penuh dengan dua frekuensi maka akan timbul bagian dari semua frekuensi jumlah dan beda. Hal ini terjadi dari pencampuran melalui garis kurva bengkok.

Sinyal masukan penguat

Keluaran penguat dengan gelombang harmonis

Keluaran penguat dengan gelombang harmonis serta frekuensi beda.



Gambar 5.42 Cacat intermodulasi

Pengukuran derajad intermodulasi sesuai peraturan DIN, penguat diberi dua sinyal dengan frekuensi f2 = 8000 Hz dan f1 = 250 Hz.

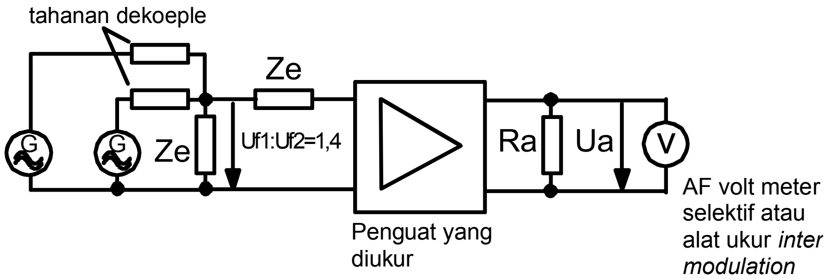
Perbandingan amplitudonya adalah 1 : 4.

Jumlah harga puncak dari f1 dan f2 seharusnya mengendalikan penguat secara penuh, dimana dengan itu tegangan f1 jatuh sebanyak empat bagian atau 80% dari tegangan maskan.

Pada Ra akan terukur tegangan-tegangan Uf2-Uf2 + Uf1 juga Uf2 - 2 Uf1 dan Uf2 + 2 Uf1 dan seterusnya.

Maka derajad intermodulasi m dihitung dengan rumus

$$m = \frac{\sqrt{[(Uf2 - Uf1) + (Uf2 + Uf1)]^2 + [(Uf2 - 2Uf1) + (Uf2 + 2Uf1)]^2 + ...100\%}}{Uf2}$$



Gambar 5.43. Tata cara pengukuran inter modulasi

Daerah pemindahan (tanggapan frekuensi)

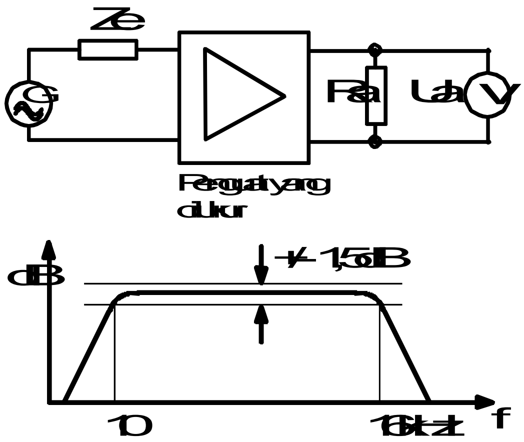
Daerah pemindahan sebuah penguat adalah daerah frekuensi, dimana penguat menindahkan tanpa cacat linier pada harga nominal.

Pada frekuensi batas penguatan turun sekitar 3 dB (30%. Tentu dicita-citakan daerah pemindahan yang besar. Walaupun pendengaran manusia hanya sampai sekitar 15 kHz, perlu dikembangkan penguat sampai misalnya 30.000 Hz.

Bunyi suatu instrumen ditentukan oleh harmonisnya, misalnya suatu instrumen bergetar pada 10.000 Hz maka harmonis pertama terletak pada 20.000 Hz, harmonis kedua pada 30.000 Hz. Walau orang tidak bisa mendengar gelombang

harmonis, tetapi perbedaan antara frekuensi dasar dan harmonis berada pada daerah pendengaran.

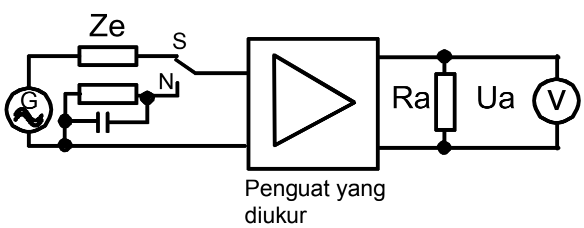
Dengan pengatur kuat suara dibuka penuh, penguat dikendalikan oleh generator suara dengan frekuensi 1000 Hz dan tegangannya 10 dB dibawah harga tegangan masukan nominal. Tegangan keluaran pada Ra dengan kondisi ini diambil sebagai tegangan patokan 0 dB. Frekuensi generator diubah-ubah dari minimum maksimum.



Gambar 5.44. Tata cara mengukur tanggapan frekuensi (kiri), dan kurva tanggapan frekuensi

Perbandigan sinyal ke desis (signal to noise ratio S/N)

Jarak sinyal dengan desis atau lebih dikenal perbandingan sinyal ke desis adalah perbandingan antara sinyal yang berguna dengan sinyal pengganggu yang dapat terdengar. Dan perbandingan ini ukur dalam dB, sinyal pengganggu ini termasuk desis dan brum.



Gambar 5.45. Tata cara pengukuran S/N

Penguat dikendalikan oleh generator dengan frekuensi 1000 Hz dan dengan tegangan masukan minimum, kuat suara dilemahkan sehingga daya keluaran pada Ra sebesar 100 mW (pada Ra = 4 Ω , 630 mV).

Untuk stereo 2 x 50 mW (pada Ra = 4 Ω, 2 x 450 mV).

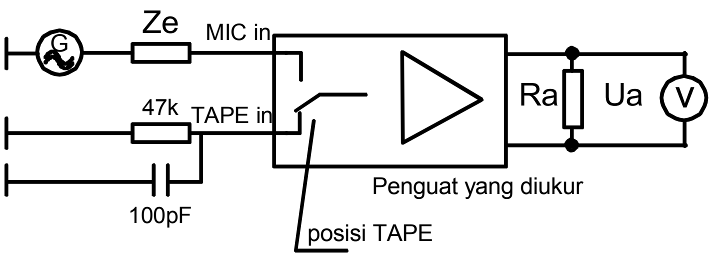
Pengatur nada pada kondisi datar, geseran tidak boleh lebih dari + 4 dB sekitar harga patokan pada 1 kHz. Tegangan keluaran pada kondisi sebagai patokan tegangan patokan 0 dB. Kemudian generator dilepas, masukan diganti dengan komponen penutup,kemudian diukur lagi. Pada kondisi terakhir adalah pengukur sinyal gangguan yang ditimbulkan dari penguat sendiri.

$$S/N = 20 \log \frac{Ua}{U_{gangguan}} \quad (dB)$$

Cakap silang (cross talk)

a. Cakap silang antar kanal

Pada peralatan stereo adalah ikut bersuaranya kanal yang lain jika kanal yang satu sedang beroperasi.



Gambar 5.46. Pengukuran cakap silang

Kedua kanal pada keluaran dipasang tahanan murni sebesar impedansi keluarannya. Kanal yang satu dikendlikan oleh generator hingga diperoleh tegangan keluaran nominalnya dengan frekuensi 1000 Hz antara 250 Hz sampai 10.000 Hz. Keduanya diukur dengan voltmeter AF.

Besarnya redaman cakap silang = 20 log $\frac{U1}{U2}$ (dB)

b. Cakap silang antar masukan yang berlainan .

Timbulnya cakap silang antar masukan yang satu dengan yang lainnya.

Satu masuka penguat dikendalikan oleh generator suara, sedang yang lainnya ditutup dengan komponen penutup.

Penguat dihubungkan antara masukan satu dengan yang lainnya, masing-masing diukur keluarannya. Perbandingan tegangan keluaran dengan tegangan keluaran nominal disebut cakap silang.

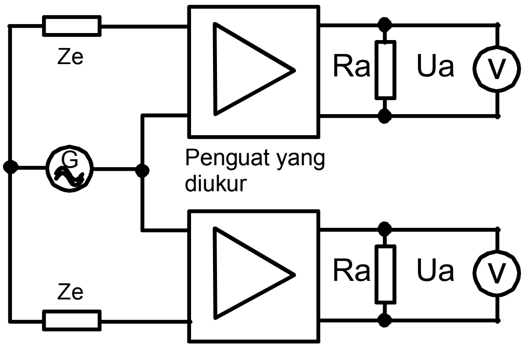
Besarnya cakap silang $= 20 \log \frac{Usa}{Una}$ (dB)

Usa = tegangan keluaran terukur

Una = tegangan keluaran nominal

Keseimbangan kanal

Pada peralatan stereo, kekuatan suara kanal kanan dan kiri boleh berbeda pada batas tertentu. Sedang pada peralatan stereo dengan pengatur ke keseimbangan (balance) perbedaan boleh lebih besar lagi.



Gambar 5.47. Tata cara mengukur keseimbangan kanal